



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Pedro Filipe Veloso Costa

Automatização dos Paradigmas
de Stress para Roedores



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Pedro Filipe Veloso Costa

Automatização dos Paradigmas de Stress para Roedores

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues de
Seabra
Professor Doutor João Filipe Pedreira de Oliveira

DECLARAÇÃO

Nome: Pedro Filipe Veloso Costa

Correio electrónico: pedrofvcosta@gmail.com

Tlm.: 919608637

Número do Bilhete de Identidade:13387466

Título da dissertação:

Automatização de Paradigmas de Stress para roedores

Ano de conclusão: 2013

Orientador):

Eurico Augusto Rodrigues de Seabra

Co-orientador:

João Filipe Pedreira de Oliveira

Designação do Mestrado:

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Área de Especialização: Tecnologias da Manufatura

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Guimarães, ____/____/____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que contribuíram de forma directa ou indirecta para a execução do presente projecto de dissertação de mestrado, pretendo aqui deixar um agradecimento e uma palavra de apreço. Entre eles, gostaria de destacar de forma especial:

- Em primeiro lugar, o meu orientador, Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues de Seabra, pela orientação, motivação, disponibilidade, conselhos e ajuda prestada em todas as áreas apesar de todos os contratempos e dificuldades;
- O meu co-orientador, Professor Doutor João Filipe Pedreira de Oliveira, pela orientação e disponibilidade;
- A Professora Doutora Luísa Pinto e o investigador do Instituto de Ciências da Saúde e da Vida, António Maria Restolho Mateus Pinheiro pela disponibilidade e ajuda prestada para a compreensão dos modelos de indução de stress;
- O técnico das Oficinas de Mecânica, Vítor Neto, pelo fabrico e apoio no projecto do equipamento, bem como os seus conselhos e opiniões;
- Os meus amigos José Lopes, Ricardo Campos, Renato Alves, Roberto Magalhães, além de todos os outros camaradas, pela motivação, apoio e companheirismo;
- A minha namorada, Elisa Dias, por toda a ajuda, motivação, compreensão, carinho, e por tornar suportáveis as fases mais complicadas;
- Por último e não menos importante, gostava sobretudo de agradecer e dedicar o presente trabalho aos meus Pais, António Costa e Rosa Veloso, aos meus irmãos, João Costa e Diana Costa pelo apoio, dedicação e suporte prestado em todos os momentos, que ajudaram a tornar possível a conclusão da dissertação e desta fase da minha vida.

RESUMO

Devido à elevada prevalência de patologias associadas ao stress nos seres humanos, a indução de stress crónico em animais é um modelo muito utilizado em investigação biomédica, para compreender os seus mecanismos e desenvolver estratégias terapêuticas e para curar e prevenir os malefícios induzidos e provocados pelo stress. Existem dois modelos de exposição ao stress: o stress crónico imprevisível, que implica a exposição diária, durante 1 hora, a estímulos agressivos, e o stress crónico moderado, que implica uma exposição permanente a estímulos aversivos, por períodos que normalmente variam entre as 3 as 9 semanas.

No âmbito de projectos de investigação desenvolvidos no Instituto de Investigação em Ciências da Vida e Saúde da Universidade do Minho, são efectuadas com bastante frequência e regularidade ensaios de stress induzidos em roedores, mas através de meios bastante rudimentares e morosos, que envolvem bastantes recursos humanos, com muitos erros e pouco controlo, fiabilidade e repetibilidade. Desta forma, o objectivo deste trabalho é a automatização do processo de indução destes modelos de stress em roedores, de forma a padronizar o mais possível a exposição aos diferentes stressores e, ao mesmo tempo, reduzir a necessidade e utilização de tempo e recursos. Assim, pretende-se desenvolver um equipamento onde os animais fiquem alojados e possam ser sujeitos aos stressores de forma automática, diminuindo o factor humano, de forma a alcançar um elevado grau de repetibilidade e fiabilidade.

Palavras-chave: Automatização, Stress, Modelos de Stress, Stress Crónico Moderado, Stress Crónico Imprevisível, Roedores.

ABSTRACT

Due to the high prevalence of diseases associated with stress in humans, the induction of chronic stress in animals is a model widely used in biomedical research, to understand their mechanisms and develop therapeutic strategies to cure and prevent the problems caused by stress. There are two models of exposure to stress: the Chronic Unpredictable Stress, which involves daily exposure for 1 hour, to aggressive stimuli, and the Chronic Mild Stress, which implies a continuous exposure to aversive stimuli, for periods usually ranging between 3 to 9 weeks.

Within the framework of research projects developed at the Research Institute in Life and Health Sciences at University of Minho, induced stress in rodents tests are applied quite frequently and regularly, but through means quite rudimentary and cumbersome, involving too much manpower and time, with many errors and little control , reliability and repeatability. Thus, the aim of this project is to automate the process of these stress models induction in rodents, in order to save time and resources, and especially standardize as much as possible the exposure to various stressors. For this, it is intend to develop a product where the animals are housed and can be subjected to stressors automatically, reducing the human factor , to achieve a high degree of repeatability and reliability .

Key-words: Automation, Stress, Stress Protocols, Chronic Mild Stress, Chronic Unpredictable Stress, Rodents.

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract.....	vii
Índice	ix
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas.....	xv
1 Introdução	1
1.1 Instituto de Ciências da Vida e da Saúde	4
1.2 Motivação.....	5
1.3 Objectivos.....	7
1.4 Organização	8
2 Modelos de stress	13
2.1 Chronic Mild Stress e Chronic Unpredictable Stress	13
2.2 Sucrose Preference Test	18
2.3 Descrição do processo.....	20
2.3.1 Biotério e Gaiolas	20
2.3.2 Agentes Stressores.....	23
2.4 Equipamentos e produtos existentes no mercado	31
3 Projecto	39
3.1 Projecto Conceptual Inicial.....	39
3.2 Novo projecto conceptual.....	52
3.2.1 Requisitos gerais	53
3.2.2 Especificações do equipamento	55
3.3 Mecanismos dos agentes stressores	56
3.3.1 Possíveis mecanismos de indução de stress	56
3.4 Desenvolvimento do projecto conceptual.....	62
3.4.1 Projecto da componente estrutural	62
3.4.2 Refinamento do projecto.....	71
3.4.3 Projecto de detalhe	83

3.4.4 Projecto para a configuração	92
3.5 Construção do Equipamento.....	93
3.6 Custos	100
4 Conclusões e Trabalho Futuro.....	103
4.1 Conclusões	103
4.2 Contributos	104
4.3 Trabalho futuro.....	106
Referências	109
Anexo A – Exemplos de programas de cms e cus.....	114
Anexo B – Lista de Peças.....	118
Anexo C – Desenhos Técnicos.....	125
Anexo D – Especificações técnicas dos componentes da Maxon Motor.....	158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Instalações do Instituto de Ciências da Vida e Saúde (adaptado de www.icvs.uminho.pt , 2013).....	5
Figura 2.1 – Exemplo de aplicação do <i>Restraining</i> (adaptado de http://www.intechopen.com , 2013).....	17
Figura 2.2 - Exemplo das condições de alojamento de um Biotério (adaptado de immf.uncor.edu , 2013).....	21
Figura 2.3 – Gaiola modelo 1291H Eurostandard Type III H – Tecniplast (adaptado de www.tecnipplast.it , 2013)	21
2.4 – Rato Wistar, espécie de rato normalmente utilizado no ICVS (adaptado de en.wikipedia.org , 2013)	22
Figura 2.5 - Pormenor da grelha da gaiola (adaptado de www.tecnipplast.it , 2013).....	23
Figura 2.6 - Exemplos de <i>Damp Bedding</i> com diferentes níveis de água	25
Figura 2.7 - Exemplo do Overcrowding, com 8 ratos por gaiola (adaptado de emcs.mty.itesm.mx , 2013)	29
Figura 2.8 - Roedor durante o <i>Forced Swim Test</i> (adaptado de http://www.eb-instruments.com , 2013)	30
Figura 2.9 - Equipamento de controlo da alimentação de um roedor (adaptado de www.Researchdiets.com , 2013).....	32
Figura 2.10 - Equipamento de controlo da ingestão de bebida de um roedor (adaptado de www.Researchdiets.com , 2013).....	33
Figura 2.11 - <i>TSE Multi-Paradigm Conditioning System</i> (adaptado de www.tse-systems.com , 2013).....	33
Figura 2.12 - Phenomaster (adaptado de www.tse-systems.com , 2013)	34
Figura 2.13 - <i>TSE FeedTime System</i> (adaptado de www.tse-systems.com , 2013)	34
Figura 2.14 - Plataforma vibratória para coelhos (adaptado de ircmj.com , 2013).....	35
Figura 3.1 - Projecto conceptual inicial	39
Figura 3.2 - Projecto inicial para aplicação dos protocolos de stress	41
Figura 3.3 - Pormenor das prateleiras	42

Figura 3.4 - Pormenor da incompatibilidade da Gaiola 1290D Eurostandard Type III da tecniplast na estrutura	42
Figura 3.5 - Pormenor da simulação do escoamento do ar no Flow Simulation do SolidWorks	43
Figura 3.6 - Simulação em Solidworks Flow Simulation para o Damp Bedding	45
Figura 3.7 - Pormenor das correias e do extremo da prateleira	46
Figura 3.8 - Pormenor das chumaceiras e veios incompatíveis com o espaço existente.....	47
Figura 3.9 - Solidworks Simulation - deformação da estrutura.....	48
Figura 3.10 - Versão deformada da simulação efectuada relativamente à tensão na estrutura	49
Figura 3.11 - Incompatibilidades de atravancamento - <i>Interference Detection</i>	50
Figura 3.12 - Micro motor de vibração (adaptado de www.ecyberspaces.com , 2013).....	57
Figura 3.13 - Resistência alhetada (adaptado de www.casadasresistencias.pt , 2013)	58
Figura 3.14 - Aquecedor cerâmico (adaptado de www.casadasresistencias.pt , 2013)	58
Figura 3.15 - Exemplos de ventiladores de pequeno porte (adaptado de www.sunon.com , 2013).....	59
Figura 3.16 - Exemplo de um perfil de alumínio (adaptado de www.minitecframing.com , 2013)	63
Figura 3.17 - Estrutura soldada inferior feita de tubo quadrado de 20x20 mm de inox	64
Figura 3.18 - Simulação à estrutura inferior	65
Figura 3.19 - Armação de suporte da gaiola.....	65
Figura 3.20 - Pormenor das prateleiras no equipamento	66
Figura 3.21 - Suporte da prateleira no veio	67
Figura 3.22 - Vista explodida da prateleira.....	68
Figura 3.23 - Estrutura de tubo de 20x20 soldado (adaptado de www.crr.com.br , 2013)	68
Figura 3.24 – Suporte dos tubos e dos cabos eléctricos.....	69
Figura 3.25 - Pormenor do equipamento que permite a limpeza e o acesso à gaiola.....	70
Figura 3.26 – Esquema geral da estrutura do equipamento	71
Figura 3.27 - Pormenor da mola e do apoio da prateleira	73

Figura 3.28 - Mecanismo do <i>shaking</i>	74
Figura 3.29 - Pormenor do Shaking, com o batente a proteger a cames	74
Figura 3.30 - Representação esquemática do sistema de elevação do Tilted Cage	75
Figura 3.31 - Componentes da elctro-válvula	76
Figura 3.32 - Reservatório de água.....	76
Figura 3.33 - Simulação computacional do ventilador externo.....	78
Figura 3.34 - Roedor escondido num canto durante um teste do Hot Air.....	78
Figura 3.35 - Ventilador do <i>Hot Air</i>	79
Figura 3.36 - Cilindro do <i>Food Deprivation</i>	80
Figura 3.37 - Pá do Restraining inserida na gaiola	81
Figura 3.38 - Diagrama de corpo livre representativo do shaking	84
Figura 3.39 - Especificações técnicas do motor (adaptado de www.maxonmotor.com , 2013).....	86
Figura 3.40 - Especificações técnicas da redutora (adaptado de www.maxonmotor.com , 2013)	86
Figura 3.41 - Motor + Redutora da Maxon Motor para o mecanismo de vibração	87
Figura 3.42 - Esquema do mecanismo porca parafuso	89
Figura 3.43 - Diagrama de corpo livre do mecanismo de inclinação.....	89
Figura 3.44 - Motor + Redutora + Travão da Maxon Motor para o mecanismo da inclinação.	91
Figura 3.45 - Alterações efectuadas à configuração da rack.....	94
Figura 3.46 - Parte inferior da estrutura	95
Figura 3.47 - Armação de suporte da gaiola	95
Figura 3.48 - Desenho técnico da chapa de 1 mm para a armação de suporte da gaiola	96
Figura 3.49 - Pormenores de fabrico	96
Figura 3.50 - Peças construídas para o equipamento	97
Figura 3.51 - Pormenor da estrutura	97
Figura 3.52 - Prateleira com uma gaiola encaixada	98

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1 - Agentes Stressores do CMS utilizados nos paradigmas de stress no ICVS.....	16
Tabela 2-2 - Agentes Stressores do CUS utilizados nos paradigmas de stress no ICVS	17
Tabela 2-3 - Plano da 1ª semana - Habituação e controlo dos animais ao Sucrose Preference Test.....	15
Tabela 2-4 - Exemplo de um plano do CMS utilizado no ICVS desde a 2ª à 7ª semana	15
Tabela 2-5 - Exemplo de um plano do CUS utilizado no ICVS desde a 2ª à 5ª semana	15
Tabela 3-1 – Esquema representativo da velocidade do ar à entrada de cada uma das gaiolas da rack [m/s]	44
Tabela 3-2 – Esquema representativo da distribuição percentual da água pelas gaiolas da estrutura.....	46
Tabela 3-3 - Incorporação dos agentes stressores nos paradigmas de stress	72
Tabela 3-4 - especificações técnicas do motor do ventilador	79
Tabela 3-5 - Orçamento para o protótipo	100
Tabela A.0-1 - Exemplo de Aplicação da CMS na Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo.....	114
Tabela 0-2 – Exemplo da Aplicação do CUS no Departamento de Psicologia do <i>City of London Polytechnic</i> por Willner	115

GLOSSÁRIO DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Símbolos Romanos	Definição	Unidade
D	Diâmetro	m
g	Aceleração da gravidade	m/s ²
m	Massa	kg
t	Tempo	s
U	Velocidade de escoamento	m/s
V	Volume	m ³
z	Cota	m
ρ	Massa volúmica	kg/m ³
B	Binário	Nm
b	Braço	m

Abreviaturas

<i>CMS</i>	<i>Chronic Mild Stress</i>
<i>CUS</i>	<i>Chronicle Unpredictable Stress</i>
<i>SPT</i>	<i>Sucrose Preference Test</i>
<i>DEM</i>	Departamento de Engenharia Mecânica
<i>ICVS</i>	Instituto de Ciências da Vida e Saúde
<i>ECS</i>	Escola de Ciências da Saúde
<i>FCT</i>	Fundação para a Ciência e Tecnologia

1 INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Nos dias que correm, a palavra stress parece estar na moda, e no dia-a-dia é fácil encontrar gente que se queixa e reclama do “stress”, por causa do emprego, das dívidas, relacionamentos problemáticos, entre outros. A sabedoria popular costuma associar o stress como a causa de diversos sintomas, tais como os problemas de sono, falta de apetite, variados problemas cutâneos, perda de cabelo, reduzido libido e impotência sexual, irritabilidade, ansiedade, entre muitos outros. Mas, afinal, em que consiste o stress?

Por definição do dicionário Priberam, o stress é o conjunto das perturbações orgânicas e psíquicas, que podem ser provocadas por vários estímulos ou agentes agressores, como por exemplo o frio, uma doença infecciosa, uma emoção, um choque cirúrgico, condições de vida muito activa e trepidante, entre outros.

No entanto, a definição do stress é muito mais complexa quando analisada do ponto de vista científico e biológico, no qual interessa analisar, qualitativamente e quantitativamente, diversos parâmetros biológicos, permitindo uma correcta compreensão do fenómeno do stress, de forma a poder estudar as melhores soluções para este problema.

O stress nem sempre é negativo ou prejudicial, pois trata-se de uma resposta do organismo a alterações e agressões externas, e está presente diariamente nas nossas vidas, permitindo ultrapassar certas situações adversas, activando mecanismos para tentar proteger o organismo e repor o estado habitual e conveniente, como por exemplo, fazendo o corpo tremer quando sente frio, aumentando a transpiração quando sente temperaturas mais elevadas, ou ainda a produção de um pico de adrenalina numa situação que seja interpretada como perigo eminente ou uma ameaça ao bem-estar do organismo. Este tipo de respostas abrange a execução de todo o tipo de tarefas, mentais e/ou físicas, com graus de dificuldade variáveis, que podem exigir do ser humano um desgaste físico e psicológico extremo, o que pode levar a problemas de saúde quando estas agressões externas e as respectivas respostas ficam desreguladas.

O stress pode ser definido como uma resposta adaptativa, mediada por características individuais ou processos psicológicos, sendo uma consequência ou resposta a qualquer evento externo que identifica demandas físicas ou psicológicas num indivíduo (Preston, 1981).

Dadas as exigências da vida moderna, não é de admirar que o conceito de stress se tenha tornado um tema familiar de discussão e que, também no âmbito académico, este fenómeno tenha atingido o topo, em termos de interesse de pesquisa na área Biomédica e da Psicologia. Os custos a curto prazo, bem como os efeitos adaptativos de longo prazo do stress têm sido um tema popular de pesquisa em fisiologia e psicologia, especialmente para as últimas décadas, desde que Hans Selye definiu o termo "stress". Doenças crónicas relacionadas com o stress, tais como as doenças cardiovasculares, diabetes e depressão, colocam um peso cada vez maior na sociedade em termos medicinais, sociais e financeiros. Portanto, se se pretender limitar a propagação e o impacto deste flagelo, é imperativo gerir adequadamente os efeitos do stress sobre os nossos corpos. Isto, só é possível se tivermos uma compreensão completa da resposta do organismo ao stress. (Selye, 1956)

A depressão, um exemplo de uma das enfermidades à qual um indivíduo sucumbe quando sujeito a stress, é um estado clínico que pode conduzir a outros problemas graves de saúde, e inclusivamente à morte. A depressão é uma psicopatologia normalmente relacionada com o stress, e existe uma certa controvérsia acerca das suas causas, cujas possibilidades passam pela genética, alimentação, estilo de vida, factores sociais, psicológicos e biológicos, e claro está, o próprio stress ao qual o Homem está sujeito hoje em dia, independentemente do meio no qual está inserido.

Hoje em dia sabe-se que a depressão é associada a um desequilíbrio nos níveis de alguns neurotransmissores no cérebro, principalmente a serotonina, noradrenalina, dopamina, acetilcolina e adrenalina, e a principal medicação anti-depressiva tem como função tentar restabelecer os níveis normais destas substâncias, repondo o estado normal do organismo.

A Organização Mundial de Saúde define a depressão como um transtorno mental comum, caracterizado por tristeza, perda de interesse, ausência de prazer, oscilações entre sentimentos de culpa e baixa auto-estima, sensação de cansaço, falta de concentração, além de graves distúrbios do sono e/ou de apetite. Assim, existem vários factores podem levar à depressão de um ser humano, como questões sociais, económicas, culturais, psicológicas e biológicas.

A depressão pode ser de longa duração ou recorrente, e na sua forma mais grave, pode levar à morte, com grande parte das fatalidades a serem resultado de suicídio. Casos de depressão leve podem ser tratados sem medicação, mas, na forma moderada ou grave, as pessoas precisam de medicação e tratamentos profissionais, e quanto mais cedo começar o tratamento, melhores serão os resultados.

Assim, é fácil perceber a relevância desta área da saúde, e a importância da investigação associada à depressão e ao stress, com especial ênfase no seu tratamento e prevenção. Como é óbvio, nestas pesquisas e experiências não podem ser utilizados seres humanos como cobaias, pelo menos numa fase inicial, surgindo assim a necessidade de se conseguir induzir um estado depressivo num outro ser vivo, mais concretamente num roedor. Então, considerando que os ratos não interagem directamente com estes factores capazes de provocar o stress, é necessário criar uma solução, isto é, um método para conseguir induzir esse estado depressivo (a anedonia) nos roedores apenas com recurso a factores externos. Complementarmente, torna-se possível a obtenção de uma forma de validar e avaliar essa mesma depressão, tendo em conta a dificuldade dos animais em exteriorizar o seu estado de espírito, apesar de manifestarem alguns sintomas físicos, cognitivos, sociais e comportamentais que podem ser um prenúncio de uma depressão.

Ao longo dos anos, surgiram vários autores a divulgar os seus modelos de stress, como por exemplo, o *Social Defeat Stress* (Kudryavtseva, 1991), *Learned Helplessness* (Durgam, 2001), *Olfactory Bulbectomy* (Song, 2005), *Psychostimulant Withdrawal* (O'Neil, 2003), *Genetically Engineered Mice* (Ridder, 2005) e o *Chronic Mild Stress* (Willner, 1992), entre outros. Apesar da variedade de modelos de stress e das suas características, o CMS tornou-se o mais consensual e mais utilizado para investigação relacionada com esta área.

No Instituto de Ciências da Vida e Saúde o modelo de stress mais utilizado é o *Chronic Mild Stress*, modelo explicado e analisado posteriormente, que consiste num conjunto de estímulos externos agressivos sobre os animais durante um certo espaço de tempo, que depois culmina com o *Sucrose Preference Test*, exame que também é explicado posteriormente, como método para validar ou avaliar o estado de anedonia nos animais, em que é analisada a insensibilidade ao reforço por parte dos ratos.

Assim, esta dissertação no âmbito da automatização dos paradigmas de stress aplicados a roedores, vem no seguimento de um projecto previamente existente, desenvolvido no

Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) em parceria com o Instituto de Ciências da Vida e da Saúde, com o intuito de aperfeiçoar o conceito apresentado no subcapítulo 3.1.

1.1 INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA VIDA E DA SAÚDE

O Instituto de Ciências da Vida e da Saúde (ICVS) foi criado em 2003 e integra o Laboratório Associado - ICVS/3B's. O ICVS está organizado em três domínios de investigação interdisciplinares: Microbiologia e Infecção, Neurociências e Ciências Cirúrgicas, com mais de 200 investigadores nos quadros, de diferentes países e com formações académicas complementares.

Este Laboratório Associado, que resulta de uma parceria estratégica, construída e consolidada ao longo dos últimos anos entre o Instituto de Investigação em Ciências da Vida e Saúde (ICVS), ligado à Escola de Ciências da Saúde (ECS-UMinho), e o Grupo 3B's - Biomateriais, Materiais Biodegradáveis e Biomiméticos (3B's), com ligações à Escola de Engenharia (EE-UMinho) tem as suas actividades centradas nas Ciências da Saúde, na sua vertente Biomédica e Clínica, e nas Ciências de Engenharias Biomédica e de Materiais (Biomateriais), com uma forte interface entre as Ciências da Saúde/Tecnologias. O ICVS/3B's - Laboratório Associado prossegue o objectivo de criar valor através do desenvolvimento de produtos e serviços inovadores, resultantes de investigação científica de excelência fortemente competitiva a nível internacional.

A parceria entre o ICVS - uma Unidade de Investigação em Biomedicina e Ciências Clínicas, articulando-se com uma vasta Rede de Unidades Prestadoras de Cuidados de Saúde - e o 3B's - uma Unidade de Investigação em Tecnologias Aplicadas à Medicina Regenerativa, nomeadamente Biomateriais, Engenharia de Tecidos e Nanomedicina, líder do Instituto Europeu de Excelência em Engenharia de Tecidos e Medicina Regenerativa - associa duas Unidades de nível Excelente (de acordo com a avaliação por painéis internacionais da FCT).

Trata-se de um consórcio de duas Unidades de I&D complementares e com grande potencial de crescimento, representando uma oportunidade singular em Portugal para estimular a inovação e para desenvolver investigação clínica e de translação de forma aplicada, estruturada e ajustada aos desafios actuais e futuros na área das ciências e tecnologias da saúde. Adicionalmente, o ICVS/3B's - Laboratório Associado oferece um elevado potencial para criar valor através do desenvolvimento de produtos e serviços altamente inovadores, e uma oferta educativa de pós-graduação de excelência reconhecida a nível internacional, particularmente nas áreas ligadas à

Biomedicina, Engenharia de Tecidos, à Medicina Regenerativa, à Nanomedicina e à Clínica, com impacto, não só na Universidade do Minho, mas também na rede nacional de I&D e no tecido empresarial, aos níveis regional, nacional e internacional. O ICVS/3B's tem como objectivo competir de forma triunfante com o que de melhor existe nas suas áreas de intervenção a nível internacional.

O ICVS (representado na figura 1.1) tem uma área total de cerca de 6000 m². A sua plataforma tecnológica é composta por laboratórios de alto padrão, com equipamentos científicos topo de gama para áreas como Cultura Celular e de Tecido, Eletrofisiologia, Nível 2 e 3 de Biossegurança, Biologia Molecular, Imagiologia, Microscopia Óptica, Histologia, Recursos Biológicos, Neuroanatomia/Neuroimagem, Citometria, e Endoscopia, bem como um centro totalmente equipado para Experimentação Animal, incluindo as áreas de estudos comportamentais, infecções experimentais e técnicas cirúrgicas.



Figura 1.1 - Instalações do Instituto de Ciências da Vida e Saúde (adaptado de www.icvs.uminho.pt, 2013)

1.2 MOTIVAÇÃO

A depressão afecta 1 em cada 5 portugueses, e 19% de toda a população mundial sofre de depressão em alguma fase da sua vida, e presume-se que seja responsável por mais de 1200 mortes anualmente, somente em Portugal, sendo que a nível mundial o consumo de anti-depressivos aumentou para mais do triplo desde o ano 2000. As consequências económicas decorrentes deste tipo de problema são enormes, pois entre custos directos e indirectos, apenas a título de exemplo, estima-se um custo anual de 118 mil milhões de euros na Europa, 83 mil milhões de euros nos Estados Unidos e 12 mil milhões de euros no Brasil (Félix, 2010).

Se considerarmos que o Stress também está associado a doenças cardiovasculares, diabetes e a muitas outras patologias físicas e psicológicas, para além do lado da perda humana, a dimensão dos danos económicos e sociais causados pelo stress toma proporções ainda maiores e difíceis de quantificar.

Desta forma, torna-se notória a importância desta área no bem-estar humano, bem como todo o desenvolvimento que ainda é possível alcançar nas áreas terapêuticas, além do interesse que o ponto de vista económico desperta, e que leva a investimentos avultados na investigação associada a esta área.

A ansiedade, depressão e o stress não são exclusivos do ser humano. Por exemplo, se colocarmos num espaço fechado um gato junto de um cão feroz, depois de algum tempo o gato estará esgotado. Primeiro ele terá muita ansiedade, entrará em stress e, pela continuidade do estímulo agressivo, a presença do cão, o gato acabará exausto. Nesse exemplo em particular, o cão funciona como stressor do gato.

Assim, nos animais, os estímulos para o desenvolvimento da ansiedade podem ter diferentes naturezas, podendo ser inatos (como se verifica no exemplo anterior), ou podem ser condicionados por treino ou experiência. Quanto à origem, estes estímulos serão quase sempre externos, partindo do pressuposto que os animais não têm condições para alimentar conflitos intra-psíquicos da mesma forma que os humanos, que são afectados por problemas no emprego, ambições, relacionamentos, política, criminalidade, entre outros, apesar de também existirem conflitos do foro social nos roedores devido a questões territoriais ou da sexualidade/reprodução.

Actualmente há muita investigação na área associada ao tratamento do stress, o que é compreensível tendo em conta a quantidade de gente que está exposta a um elevado nível de stress no dia-a-dia, e às suas consequências, bem como a ansiedade, a que o Homem cede pelos mais variados motivos. A Universidade do Minho tenta também contribuir, dedicando muitos recursos, financeiros e humanos, à investigação relacionada com o stress, tendo no Biotério da Escola de Ciências da Saúde condições para efectuar um bom trabalho, condicionado pelo método utilizado para aplicar os modelos de stress nos roedores. Este método requer muito tempo e mão-de-obra especializada, que não cumpre os requisitos do método, pois o factor humano provoca muitos erros e variações ao longo do processo, o que pode influenciar a aceitação de resultados por parte da comunidade científica, com parâmetros como a repetibilidade, bastante

reduzida. Desta forma, surge assim a necessidade de automatizar o processo, garantindo fiabilidade e repetibilidade, reduzindo ao mesmo tempo o consumo de tempo e de mão-de-obra.

Através da observação e análise da aplicação dos agentes stressores que fazem parte dos modelos de stress utilizados pelos investigadores, sem contabilizar o *Sucrose Preference Test*, estima-se que para aplicar integralmente o Stress Crónico Moderado (CMS) durante 5 dias a 48 animais, ou seja, em 24 gaiolas, são necessárias aproximadamente 50 horas de trabalho humano, enquanto que para o Stress Crónico Imprevisível (*Chronicle Unpredictable Stress* - CUS), também para 48 animais durante outros 5 dias, serão necessárias cerca de 90 horas, pois apesar de neste modelo os agentes stressores serem aplicados a cada animal apenas durante 1 hora por dia, demoram muito mais tempo a serem executados e são muito mais cansativos para o tratador responsável, tal como será analisado no capítulo seguinte. Desta forma, estes protocolos consomem muito tempo e energia e têm uma repetibilidade reduzida, devido ao factor humano associado ao processo, sendo que esses erros são apresentados posteriormente, bem como a forma de os reduzir ou eliminar, de forma a garantir as melhores condições. Assim, é nestas circunstâncias que surge o projecto para a automatização destes paradigmas de stress, que culminou com a construção do primeiro protótipo, e cujo conceito, o ICVS pretende registar a patente.

1.3 OBJECTIVOS

Esta dissertação tem como objectivo principal o projecto e desenvolvimento de um protótipo de um equipamento que permita, de forma automática, aplicar os dois modelos de stress aos roedores, o *Chronic Mild Stress* e o *Chronic Unpredictable Stress*, automatizando os agentes stressores, ou desenvolver métodos que providenciem repetibilidade e fiabilidade comparativamente aos métodos manuais utilizados, para além da redução de consumo de recursos humanos e do tempo dispendido. Além disso, o projecto tem de ter em conta que o próprio equipamento também é o seu alojamento e tem de ter todos os cuidados de segurança e higiene necessários.

Assim, os objectivos passam por desenvolver um projecto para o primeiro protótipo de um equipamento onde os agentes stressores sejam automatizados e onde o factor humano seja

reduzido e tenha menor influência em todo o processo. Da mesma forma, os agentes stressores que não forem automatizados têm de garantir um método que garanta repetibilidade, fiabilidade e que inclua o mínimo possível de interacção humana.

De salientar também o facto de que a gaiola será sujeita a algumas alterações, sendo que alguns dos agentes stressores estão inseridos nas próprias gaiolas, mas com um compromisso, de forma a garantir que o equipamento está preparado para alojar os animais, com todas as condições requeridas, como a alimentação, segurança e higiene. Assim, a gaiola pode ser alterada, desde que mantenha as condições da zona onde os ratos vivem, para manter os animais sujeitos a stress e os animais de controlo em condições semelhantes.

1.4 ORGANIZAÇÃO

De modo a enquadrar o trabalho realizado no âmbito desta tese para atribuição do grau de mestrado, é redigido o presente capítulo introdutório que aborda de forma sucinta os temas relacionados com o stress no panorama actual. Existem aqui dois sub-capítulos que pretendem clarificar a motivação do trabalho, e outro ainda que aborda os objectivos.

O segundo capítulo trata dos modelos de stress utilizados, e revê a literatura mais relevante para a compreensão e realização do trabalho, e para enquadrar e dar a compreender o resto do trabalho, abordando os tópicos associados ao stress aplicado aos animais, os modelos de stress aos quais se destina o projecto e a forma como estes são aplicados, terminando com alguns produtos similares existentes no mercado.

No terceiro capítulo descreve-se o desenrolar do projecto, começando por abordar o projecto conceptual a partir do qual se deveria guiar todo o trabalho, seguindo-se a listagem de todas as soluções possíveis para aplicar aos animais, dentro dos modelos de stress envolvidos. Segue-se a abordagem concreta ao trabalho, expondo o processo do projecto, tanto para a estrutura como para todos os mecanismos responsáveis pela execução dos agentes stressores que irão afligir os ratos. Para terminar aborda-se a construção do equipamento, com os passos seguidos e as soluções adoptadas.

O relatório termina com os contributos que o equipamento desenvolvido fornece à aplicação dos modelos de stress, seguindo-se as principais conclusões que se podem retirar da elaboração do presente trabalho, terminando com as sugestões para os trabalhos futuros.

2 MODELOS DE STRESS

2 MODELOS DE STRESS

Para melhor compreender os conceitos em causa no presente trabalho, torna-se necessário abordar diversos aspectos, que ainda que pouco pertinentes para a área de Engenharia Mecânica, ajudam a compreender todo o processo de projecto, bem como os requisitos a este associados, para além do enquadramento do tema. Assim, neste capítulo pretende-se explicar de forma resumida em que consistem os modelos de stress, a descrição do processo, a forma de validar que os animais estão efectivamente num estado depressivo, as restrições e imposições, bem como todos os pormenores associados para o projecto devido aos próprios animais, à limpeza da gaiola e manutenção.

2.1 CHRONIC MILD STRESS E CHRONIC UNPREDICTABLE STRESS

Devido à elevada prevalência de patologias associadas ao stress, a indução de stress crónico em animais é um modelo muito utilizado em investigação biomédica, de forma a compreender os seus mecanismos e desenvolver estratégias terapêuticas. Tal como dito anteriormente, existem dois modelos de exposição a stress: o Stress Crónico Imprevisível, que implica a exposição diária, por 1 hora, a estímulos agressivos externos, como o *Cold Water* (água fria), *Hot Air* (ar quente) e *Noise* (ruído), e o Stress Crónico Moderado, que implica uma exposição permanente a estímulos agressivos como *Damp Bedding* (cama molhada), *Tilted Cage* (caixa inclinada), *Food Deprivation* (privação de comida) e a alteração do ritmo circadiano através da alteração do ciclo de luz (*Light Cycle Change*).

Quando os animais estão stressados, para além do estado de anedonia, também é possível verificar outras enfermidades nos animais, tal como por exemplo a alteração da sensibilidade à recompensa, variação na ingestão de alimentos (Dalmaz, 2003; Anisman, 2002; Weiss, 1997), perda de peso corporal (Willner, 1997), diminuição na actividade motora e cognitiva (Glass, 2004), entre outras alterações comportamentais. Os estudos relacionados com estes modelos podem ter como objectivo final testar anti-depressivos, testar formas de prevenção, efectuar análises comportamentais e cognitivas aos animais, ou ainda efectuar análises ao sangue, ao cérebro, ou a outros órgãos, sendo que o objectivo depende sempre do propósito do estudo.

Este modelo tem duas variantes, o *Chronic Mild Stress*, no qual os animais estão sujeitos ao conjunto de estímulos stressores de forma contínua e programada, e outra, o *Chronic Unpredictable Stress*, no qual os animais são sujeitos aos estímulos aversivos durante 1 ou 2 horas diárias, por agentes stressores aplicados de forma semi-aleatória.

O *Chronic Mild Stress*, ou stress crónico moderado, é um modelo experimental de depressão, que tem por objectivo verificar a relação entre a exposição de animais, normalmente ratos, a um conjunto de estímulos adversos crónicos e moderados por um longo e ininterrupto período de tempo, entre as 3 e as 9 semanas mais a semana de habituação ao SPT, e o desenvolvimento de anedonia (Willner, 1984). A anedonia, ou insensibilidade ao reforço, em modelos experimentais, é uma característica comportamental similar à perda de interesse ou prazer e sintomas de melancolia apresentados por humanos diagnosticados com depressão (Willner, 1987). Assim, o CMS submete os animais a um conjunto de estímulos agressivos de forma contínua.

A distribuição dos agentes stressores no tempo varia conforme o investigador e os seus recursos, havendo uma grande variedade de combinações possíveis. Na ICVS o protocolo normalmente utilizado é composto pela habituação ao SPT durante a primeira semana, de acordo com um plano como o exposto na Tabela 2-1, seguindo-se um programa que se repete nas restantes semanas. Na Tabela 2-2 é apresentado um exemplo de uma calendarização seguida na ICVS, sendo que as combinações possíveis de agentes stressores são imensas. Já o CUS, partilha o mesmo plano da 1ª semana, e nas restantes semanas os agentes stressores são aplicados de forma semi-aleatória, como no exemplo da Tabela 2-3. Normalmente, na Escola de Ciências da Saúde, o CMS tem uma duração total de 7 semanas e o CUS de 5 semanas, mas esta duração varia conforme os investigadores, instituto, propósito, entre outros factores, não existindo uma duração ideal ou efectiva para aplicação destes modelos. No Anexo A encontram-se outros exemplos possíveis de planos de CMS e de CUS, utilizados para outros estudos realizados noutras Instituições, respectivamente no Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo (CMS) e no Departamento de Psicologia do City of London Polytechnic (CUS).

As possíveis combinações de agentes stressores são imensas, e variam muito conforme a disponibilidade dos investigadores e dos recursos disponíveis, mas para este projecto, esta calendarização não é muito relevante, pois o objectivo é que a aplicação dos agentes stressores no tempo seja efectuada de forma dinâmica e automática, conforme a decisão do investigador.

Tabela 2-1 - Plano da 1ª semana - Habituação e controlo dos animais ao Sucrose Preference Test

	Segunda feira	Terça feira	Quarta feira	Quinta feira	Sexta feira	Sábado	Domingo
08:00 – 15:00						Light Cycle Change	Light Cycle Change
15:00 – 16:00	Sucrose Preference Test	Food and Water Deprivation	Sucrose Preference Test	Food and Water Deprivation	Sucrose Preference Test	Light Cycle Change	Light Cycle Change
17:00 – 08:00						Light Cycle Change	Light Cycle Change

Tabela 2-2 - Exemplo de um plano do CMS utilizado no ICVS desde a 2ª à 7ª semana

	Segunda feira	Terça feira	Quarta feira	Quinta feira	Sexta feira	Sábado	Domingo
09:00 – 10:00	Strobe Lights (até às 13:00)	Inaccessible Food	Empty Bottle	Tilted Cage	Food and Water Deprivation	Light Cycle Change	Light Cycle Change
10:00 – 14:00	Restraining (das 13:00 às 14:00)	Tilted Cage	Strobe Lights	Tilted Cage	Food and Water Deprivation	Light Cycle Change	Light Cycle Change
14:00 – 18:00	Tilted Cage	Noise	Restraining (até às 15:00)	Noise	Sucrose Preference Test	Light Cycle Change	Light Cycle Change
18:00 – 08:00	Food Deprivation	Water Deprivation	Damp Bedding	Food and Water Deprivation	Light Cycle Change	Light Cycle Change	Light Cycle Change

Tabela 2-3 - Exemplo de um plano do CUS utilizado no ICVS desde a 2ª à 5ª semana

	Segunda feira	Terça feira	Quarta feira	Quinta feira	Sexta feira	Sábado	Domingo
00:00 – 15:00					Food and Water Deprivation	Light Cycle Change	Light Cycle Change
15:00 – 16:00	Tilted Cage	Noise	Overcrowding	Shaking	Sucrose Preference Test	Light Cycle Change	Light Cycle Change
16:00 – 00:00				Food and Water Deprivation		Light Cycle Change	Light Cycle Change

Cada um dos protocolos tem os seus agentes stressores, apesar de alguns deles serem comuns entre os dois. No plano apresentado na Tabela 2-4 e 2-5 são expostos alguns dos estímulos agressivos a que os ratos são sujeitos, mas não a totalidade das opções, pois aqueles planos são apenas exemplos da calendarização utilizada.

Assim, na Tabela 2-4 são apresentados os agentes stressores utilizados no Biotério da Universidade do Minho para o *Chonicle Mild Stress*, bem como uma breve descrição/objectivo do agente stressor e ainda a sua duração:

Na Tabela 2-5 são apresentados os agentes stressores que são incluídos nos protocolos de CUS, e uma breve descrição acerca do principal objectivo do estímulo. Porém, neste caso, a duração é a mesma para todos os agentes stressores, ou seja, de 1 hora.

No subcapítulo 2.3.2 é abordada a forma como estes agentes stressores são aplicados, quais os seus objectivos, os problemas e os erros mais recorrentes.

Tabela 2-4 - Agentes Stressores do CMS utilizados nos paradigmas de stress no ICVS

Stressor	Descrição	Duração
<i>Food deprivation</i>	Ausência total de comida;	18 a 24 horas;
<i>Inaccessible Food</i>	Colocar a comida sem acesso directo logo após o <i>Food Deprivation</i> ;	1 hora;
<i>Water deprivation</i>	Ausência total de água;	18 a 24 horas;
<i>Empty Bottle</i>	Colocar uma garrafa vazia logo após <i>Water Deprivation</i> ;	1 hora;
<i>Damp bedding</i>	Molhar a cama, alagando a gaiola;	12 a 18 horas;
<i>Tilted cage</i>	Inclinação da gaiola entre os 30° e os 40°;	4 a 6 horas;
<i>Light-Cycle change</i>	Mudar o ciclo de luz durante o dia e a noite;	12+12 horas;
<i>Noise</i>	Ruído intenso, sempre diferente;	4 a 6 horas;
<i>Strob light</i>	Apontar uma luz estroboscópica indirectamente à gaiola;	4 a 6 horas;

Tabela 2-5 - Agentes Stressores do CUS utilizados nos paradigmas de stress no ICVS

Stressor	Descrição
<i>Shaking</i>	Agitar os animais;
<i>Tilted Cage</i>	Inclinação da gaiola entre os 30 e os 40°;
<i>Overcrowding</i>	Os animais são colocados em caixas com muitos outros animais;
<i>Restraining</i>	Os animais são confinados a um espaço muito reduzido que impede movimentos;
<i>Hot air</i>	Corrente, ou jacto, de ar quente;
<i>Cold water</i>	Salpicos de água fria;
<i>Noise</i>	Ruído intenso, sempre diferente;
<i>Fox/Cat Scent</i>	Odor de predadores na gaiola;

É importante referir que em alguma bibliografia, dependendo dos autores, são ainda utilizados outros agentes stressores, como por exemplo, o *Foreign Object* (objecto estranho na gaiola), *Tail Suspension* (suspensão pela cauda) ou *Forced Swimming* (natação forçada), mas que não são mencionados nestas tabelas porque não é costume recorrer a esses estímulos agressivos no ICVS, logo não são requisitos do projecto. Na realidade, o *Fox/Cat Scent* também não é parte do protocolo utilizado, devido a problemas de isolamento do cheiro, que se pode alastrar ou entranhar nas gaiolas, influenciando animais de controlo ou cujo protocolo de stress não inclui este agente stressor, estando por isso ainda numa fase de avaliação. Contudo, este agente stressor também não entra nos requisitos deste projecto.

**Figura 2.1 – Exemplo de aplicação do *Restraining* (adaptado de <http://www.intechopen.com>, 2013)**

2.2 SUCROSE PREFERENCE TEST

De entre os vários modelos de stress existentes, para este projecto apenas são considerados o Chronic Mild Stress e o Chronic Unpredictable Stress. Estes protocolos de stress utilizados na Escola de Ciências da Saúde da Universidade do Minho, consistem numa série de agentes stressores que são apresentados aos animais durante algumas semanas, variando entre as 3 e as 9 semanas, sendo que a primeira semana de qualquer um dos protocolos serve apenas para a habituação ao Sucrose Preference Test, uma vez que este teste é realizado todas as semanas, de forma a detectar um estado de anedonia nos animais. Na Tabela 2-1 está exposto um exemplo de uma semana de habituação ao SPT.

Nestes modelos de depressão, a anedonia, ou insensibilidade ao reforço, é avaliada quantificando a ingestão (em ml) de pelo menos duas substâncias, geralmente água e um solução de sacarose, antes, durante e depois da exposição ao protocolo de stress. Quando os sujeitos apresentam diminuição no consumo de líquidos, especialmente da solução com açúcar, durante o protocolo de stress, comparativamente com o consumo registado antes da exposição ao CMS, pode-se afirmar que eles apresentam sintomas de anedonia ou que diminuíram a sensibilidade ao reforço (Willner, 1987).

Devido a diversos estudos desenvolvidos na área, observou-se que os animais quando expostos aos estímulos aversivos, no decorrer do protocolo, apresentam redução no consumo de líquidos, tanto de água como de solução de sacarose, quando comparado com as aferições iniciais. Já os sujeitos que não são submetidos ao protocolo não apresentam tal redução. A diminuição no consumo de líquidos, especialmente no consumo de sacarose, foi interpretada como uma alteração na “sensibilidade à recompensa”, ou anedonia, característica típica de depressão em humanos. Segundo os autores, a exposição ao conjunto de estímulos agressivos provocou tal alteração (Papp & Willner, 1992).

No final do protocolo experimental, isto é, após os animais terem sido sujeitos aos agentes stressores, com o objectivo de reverter esse sintoma de depressão, os investigadores submetem os sujeitos a um tratamento com um anti-depressivo por um período de algumas semanas. Após a administração do anti-depressivo, os sujeitos que receberam a droga apresentam um aumento no consumo de solução de sacarose, chegando próximo dos valores obtidos antes da exposição ao protocolo, a linha de base. A resposta dos sujeitos ao anti-depressivo destacou que a diminuição

no consumo de líquidos poderia ser compreendida como insensibilidade ao reforço ou anedonia. Esse resultado validou a anedonia como uma característica de depressão, e o stress crónico moderado e o stress crónico imprevisível como modelos experimentais para aferir essa psicopatologia, resultando daí o interesse no estudo destes protocolos de stress (Kudryavtseva, 1991). Além disto, confirmou-se que os animais de controlo que não foram stressados, mas que tomaram o anti-depressivo mesmo sem estarem deprimidos, não aumentaram o consumo de solução de sacarose no SPT, apenas mantendo os níveis normais, não havendo por isso relação entre o consumo de anti-depressivo e a preferência pela solução de sacarose em condições normais, mas sim uma preferência pela solução de sacarose à medida que se vai deixando o estado depressivo, recorrendo ao tratamento com anti-depressivos ao fim de algumas semanas (Cardoso, 2009).

No Instituto de Investigação em Ciências da Vida e da Saúde, o *Sucrose Preference Test* é realizado todas as semanas após os animais terem estado entre 18 e 24 horas sem acesso a água e comida, e tem a duração de uma hora, durante o qual cada animal, individualmente, tem acesso a dois biberões, um com água e o outro com uma solução de sacarose. Para quantificar a ingestão de cada líquido por parte do animal, cada biberão é pesado antes e depois do teste, registando a quantidade de cada líquido ingerido por cada animal testado, exportando posteriormente os dados para tratamento e análise.

Resumindo, o *Sucrose Preference Test* é a forma de os investigadores conseguirem atestar a anedonia ou um estado depressivo nos animais sujeitos aos modelos de stress, pois, devido aos estudos anteriores foi comprovada a relação entre o estado depressivo do animal e a redução do consumo de líquidos, principalmente a solução adocicada, tendo sido também comprovado que não existe relação entre a medicação anti-depressiva e o consumo de líquidos nos animais de controlo.

No Biotério da Escola de Ciências, existe ainda outra forma adoptada para avaliar o stress, que consiste na medição da concentração de corticosterona no sangue dos animais, para avaliar o nível de stress em que os animais se encontram.

2.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Nos protocolos de stress aplicados, há uma série de agentes stressores que são aplicados aos animais, de forma a obter ao fim de algumas semanas, um estado de anedonia nos roedores, o que significa que o stress aplicado induziu um estado depressivo nos indivíduos.

Tal como dito anteriormente, os factores que atormentam os seres humanos são diferentes daqueles que afligem os roedores, isto porque os animais não têm os mesmos problemas sociais, financeiros e culturais que os seres humanos, e por isso, a maior parte da tormenta a que os roedores têm de ser sujeitos advém de factores externos e/ou físicos.

De forma a conhecer os protocolos foram necessárias várias visitas ao Biotério da ECS, analisando a forma como estes eram aplicados, quais as suas restrições, os cuidados a ter, os principais problemas e os principais objectivos de cada um dos stressores e do seu método de aplicação. Para além destas observações, mas ainda com o mesmo intuito, foram efectuadas entrevistas e trocas de ideias com investigadores, técnicos e funcionários de limpeza, de forma a compreender a complexidade, especificidade e os cuidados associados a estes protocolos de stress.

2.3.1 Biotério e Gaiolas

A sua plataforma tecnológica do ICVS é composta por laboratórios de alto padrão, com equipamentos científicos topo de gama para diversas áreas científicas. Assim, para se ter acesso às instalações laboratoriais, ao Biotério e aos animais, é necessário cumprir uma série de cuidados e normas sugeridos pela OMS para segurança das pessoas e dos animais, sendo apenas possível entrar na área onde os animais se encontram alojados após a desinfecção das mãos, e requer a utilização de touca, máscara, bata, luvas e protectores de calçado. Da mesma forma, todo e qualquer equipamento que seja necessário introduzir no interior do Biotério requer a pulverização com uma solução desinfectante. Além destas protecções, também não é permitido tirar fotografias ou efectuar vídeos. Estes cuidados têm de ser adoptados por qualquer pessoa, desde os investigadores, tratadores, funcionários de limpeza ou visitantes ocasionais. Na zona onde os ratos ficam alojados é necessário ter muito cuidado, e deve ser evitado o ruído de forma a não incomodar os animais.

Os animais encontram-se alojados em gaiolas, com 2 ratos por gaiola. As gaiolas estão colocadas em *racks*, sendo que cada *rack* tem capacidade para suportar 24 gaiolas. Os animais passam o tempo todo no interior das gaiolas, estejam estes sujeitos aos protocolos de stress ou em repouso, com a excepção de quando os investigadores efectuem qualquer actividade, como a aplicação de um agente stressor ou um teste, como labirintos, testes cognitivos ou de memória, que têm de ser forçosamente realizados fora das gaiolas.



Figura 2.2 - Exemplo das condições de alojamento de um Biotério (adaptado de immf.uncor.edu, 2013)

A gaiola utilizada está representada na Figura 2.3, cujas dimensões são 425×266×292 mm. Nesta, é inserida a “cama”, um material que se assemelha a serradura mas com uma granulometria superior, onde os animais habitam e fazem as necessidades fisiológicas. Esta cama é substituída todas as semanas pelos tratadores, usualmente após o *Damp Bedding*. A troca da cama pode ser efectuada recorrendo a um aspirador (aspirando a cama, fezes e pêlos), ou então trocando a parte inferior da gaiola por outra, com uma cama nova e limpa.



Figura 2.3 – Gaiola modelo 1291H Eurostandard Type III H – Tecniplast (adaptado de www.tecniplast.it, 2013)

No processo de troca de cama da gaiola, também são reabastecidos a comida e água. Após a aplicação dos paradigmas de stress, as gaiolas, grelhas e biberões necessitam de ser limpos, e por essa razão são esterilizadas no autoclave antes de serem novamente utilizadas.

Os ratos utilizados nestes protocolos podem ser de diversas espécies, mas os animais mais comuns é apresentado na figura 2.4. Estes animais são conhecidos na gíria comum como ratos de laboratório, e reproduzem-se e são criados em cativeiro geração após geração, podendo ser classificados ou divididos em dois grupos, os *Outbred* e os *Inbred*. Um animal *Inbred* é o produto de 20 gerações consecutivas do acasalamento entre irmãos, ou pais e filhos. Utilizando esse tipo de acasalamento, conseguimos obter um índice de homozigose de 99%, o que torna tais animais os mais idênticos possíveis que se pode obter, garantindo a repetibilidade de resultados. Os animais *Outbred* são animais que não são obtidos através de acasalamento entre familiares directos, não possuindo assim consanguinidade ao nível dos *Inbred* (Andrade, 2002).



2.4 – Rato Wistar, espécie de rato normalmente utilizado no ICVS (adaptado de en.wikipedia.org, 2013)

Os animais tem acesso à comida e à bebida porque esta se encontra disponível na própria gaiola, em dois compartimentos distintos, na parte superior da grelha que está no seu interior, tal como ilustrado na Figura 2.5. De um dos lados pode ser colocado um biberão ou uma garrafa, e do outro lado a comida, à qual os ratos têm acesso roendo a comida entre os arames da grelha.



Figura 2.5 - Pormenor da grelha da gaiola (adaptado de www.tecniplast.it, 2013)

2.3.2 Agentes Stressores

Neste subcapítulo, são listados os agentes stressores que fazem parte dos protocolos de stress utilizados especificamente na Escola de Ciências da Saúde, e uma breve descrição alusiva à forma como estes são postos em prática na realidade. Estes estímulos, propostos por investigadores conceituados a nível mundial e que se tornaram referências na área, sofreram ligeiras adaptações decorrentes das limitações de recursos físicos e humanos no Biotério do ICVS.

A forma como estes agentes stressores são aplicados é extremamente difícil de medir e controlar, devido ao factor humano, o que induz muitos erros (e a sua respectiva acumulação), prejudicando gravemente a repetibilidade do processo e dos resultados.

- ***Food Deprivation***

Este estímulo consiste na ausência total de comida, durante um intervalo de tempo compreendido entre as 18 e as 24 horas. Isto representa uma alteração à sua rotina, pois os animais são treinados/habitados a ter o seu alimento sempre disponível na sua gaiola.

Neste processo, a comida é retirada manualmente pelos investigadores, de uma gaiola de cada vez e guardada num local adequado, numa sala diferente daquela onde os animais ficam guardados durante a aplicação destes protocolos de stress. Este método acarreta alguns inconvenientes, como por exemplo o tempo que se demora a retirar a comida de todas as gaiolas.

- ***Inaccessible Food***

Imediatamente após o *Food Deprivation*, coloca-se a comida novamente na gaiola, porém de forma a que os animais não tenham acesso a esta, ou o acesso à mesma seja condicionado. Este ponto tem a duração de cerca de uma hora, e tem como objectivo stressar os ratos, que mesmo tendo comida ao seu alcance, não têm acesso à mesma.

Neste procedimento, a comida é recolocada manualmente num recipiente transparente dentro de cada gaiola, acima da grelha, para que os animais, apesar de conseguirem ver e cheirar a ração, não a consigam alcançar.

O problema deste método também passa pelo tempo que se demora a recolocar a comida em cada uma das gaiolas.

- ***Water Deprivation***

Este agente stressor consiste na ausência total de água, durante um intervalo de tempo compreendido entre as 18 e as 24 horas. Isto representa uma alteração à sua rotina, pois os animais são treinados/habitados a ter a sua água sempre disponível na sua gaiola

Neste processo, o biberão é retirado manualmente de uma gaiola de cada vez, e guardado num local apropriado. O defeito deste método é, mais uma vez, o tempo que se demora a recolocar o biberão em todas as gaiolas.

- ***Empty Bottle:***

Imediatamente após o *Water Deprivation* coloca-se o biberão no interior da gaiola, de maneira a que os roedores não tenham acesso à bebida. Este ponto tem a duração de cerca de uma hora, e com este processo pretende-se stressar os ratos, que estando desidratados e sabendo que têm a bebida ao seu alcance, não têm acesso à mesma.

Neste procedimento o objectivo é alcançado através da colocação de um biberão vazio no interior da gaiola de forma a enganar os animais, ou então, colocando o biberão cheio no interior da gaiola, no seu lugar habitual, mas pousado ao contrário, isto é, com o bocal voltado para cima.

O inconveniente deste método é o tempo que se demora a recolocar o biberão de todas as gaiolas.

- ***Damp Bedding***

Este processo consiste em molhar a cama onde os animais estão colocados, alagando a gaiola com água e deixando-a encharcada durante cerca de 18 horas. Com a cama ensopada, os roedores ficam impossibilitados de descansar, passando a noite a tentar rearranjar a cama para fazer um patamar acima do nível da água, de modo a se manterem secos.

Para simplificar processos e não gastar recursos escusadamente, a troca de cama e limpeza semanal da gaiola coincide com o fim das 18 horas de stress, altura em que as tratadoras trocam a cama e a parte inferior da gaiola. Assim, este método resume-se a despejar cerca 0.75 litros de água directamente na cama dos animais e deixá-los naquele ambiente a noite toda até as tratadoras trocarem a cama na manhã do dia seguinte.

A principal dificuldade deste agente stressor, prende-se com o facto deste processo ser realizado manualmente e a uma gaiola de cada vez, consumindo muito tempo. Além disso, pode existir uma diferença significativa no volume de água despejado em cada gaiola, o que não garante as melhores condições de experimentação, devido à exposição de estímulos agressivos em diferentes graus a diferentes animais.

Na Figura 2.6 estão ilustradas duas gaiolas distintas, com níveis de água diferentes: a gaiola da direita está praticamente inundada e, por sua vez, a gaiola da esquerda tem consideravelmente menos água.. Este factor influencia o nível do stress do animal.



Figura 2.6 - Exemplos de *Damp Bedding* com diferentes níveis de água

- ***Tilted Cage***

Este agente stressor consiste na inclinação acentuada da gaiola, variando entre os 30° e os 45° de inclinação. Este processo deixa os animais no fundo da gaiola, atolados na cama e nos próprios dejectos, com dificuldade para se movimentarem e chegarem à comida e à bebida, tornando claro o objectivo deste agente.

Para realizar esta tarefa, as gaiolas são manualmente colocadas, uma de cada vez, no chão, com um batente a forçar a gaiola a ficar inclinada contra a parede

O problema desta actividade é o tempo que demora a preparar e concluir esta tarefa, quantificar a inclinação da gaiola, garantir a mesma inclinação para todas as gaiolas, garantir a mesma inclinação de todas as vezes que se realiza este agente stressor, para além do risco de queda das gaiolas quando se transportam as gaiolas da *rack* para o local de aplicação do stress. Além disso, há a possibilidade de o batente escorregar e a gaiola pousar, ficando na posição horizontal habitual, anulando o propósito do estímulo stressor, desperdiçando tempo do paradigma de stress e criando diferenças entre as várias gaiolas, deteriorando assim a repetibilidade.

- ***Light-Cicle Change***

Este processo consiste na alteração do ciclo de luz diário, que pretende interferir com o ciclo circadiano dos animais, com a imposição de luz durante a noite e escuridão durante o dia, num período de aproximadamente 12 horas para cada estado, ou ainda exposição contínua à luz por períodos que podem alcançar as 48 horas. Com este agente stressor pretende-se interferir profundamente no descanso e nos horários de sono dos animais, alterando assim o seu ritmo biológico.

Este procedimento ocorre normalmente ao fim de semana, e é obtido com a colocação da *rack* numa sala própria (que permanece escura durante o dia e mantém a luz ligada durante a noite), de forma a não interferir com os animais sujeitos a outros protocolos. Outra opção adoptada é deixar os animais numa sala que ficava com as luzes acesas durante todo o fim-de-semana, mas esta opção varia conforme o objectivo pretendido pelo responsável.

Este agente stressor não apresenta defeitos funcionais na sua aplicação, mas pode ser optimizado através da contabilização e registos de horas de luz e de escuridão.

- **Noise**

Este parâmetro do protocolo de stress consiste numa estimulação sonora exagerada, durante um período de 1 hora apenas ou durante um intervalo de 4 a 6 horas, conforme o protocolo, e pretende influenciar negativamente o descanso dos animais com o barulho produzido e induzir os efeitos fisiológicos prejudiciais, já conhecidos pela comunidade científica e que são comuns inclusivamente aos seres humanos.

Este processo é realizado numa sala própria, à parte dos outros animais, de forma a não afectar e interferir com os protocolos destes. Este processo é realizado com recurso a colunas, que emitem sons tipo *Spectrum*, *White Noise* e sons de predadores num volume alto. A outra opção era insustentável, porque consistia num ser humano a bater com chapas ou outros objectos metálicos durante o intervalo de tempo anteriormente mencionado.

Este agente stressor não apresenta defeitos funcionais na sua aplicação, contudo pode ser melhorado através do registo do tipo de som a que os animais foram sujeitos, o volume, a intensidade, frequência, duração, entre outros.

- **Strob Light**

Este agente stressor consiste num estímulo visual intenso, mais concretamente numa luz intensa intermitente, durante um intervalo de tempo compreendido entre as 4 e as 6 horas.

Este agente stressor é aplicado com recurso a uma lâmpada Strobe apontada indirectamente para a *rack* onde os animais estão alojados e é, também, realizado numa sala própria, à parte dos outros animais, de forma a não afectar e interferir com os animais sujeitos a outros protocolos.

Este agente stressor não apresenta defeitos funcionais na sua aplicação, mas pode ser melhorado pelo registo dos seus parâmetros de teste, tais como a duração deste estímulo, a intensidade da luz, a frequência da lâmpada, entre outros.

- **Shaking**

Este processo consiste em aplicar uma certa vibração aos roedores, idealmente durante 1 hora, de forma a impedir o seu descanso e as actividades normais, afectando também a sua parte física.

Este agente stressor nunca foi aplicado conforme os requisitos por diversas dificuldades técnicas. Assim, existe a possibilidade de agitar os animais pegando numa gaiola e agitando-a horizontal e verticalmente durante 1 hora, uma de cada vez. Porém este é um processo moroso e extremamente cansativo para os tratadores ou para os investigadores e que consome muitos recursos humanos. O método adoptado é, então, colocar os animais de todas as gaiolas ao mesmo tempo num saco, e agitar esse saco durante uns minutos, sem se aproximar sequer dos 60 minutos expectáveis.

Os defeitos deste método são notórios, e condicionam bastante a repetibilidade e fiabilidade deste estímulo stressor. A duração do processo é um dos defeitos, não por excesso, mas sim pelo facto de ser aplicado por pouco tempo, processo que é dependente do investigador que o aplica. Além disso, a repetibilidade é no mínimo questionável, e ocasionalmente provoca a morte de alguns espécimes nos quais já tinham sido investidas muitas horas de stress.

Neste método não é possível garantir a repetibilidade do processo, pois os parâmetros não são controláveis, como por exemplo, a frequência, a aceleração e a amplitude, para além da duração do processo.

- ***Restraining:***

Este processo consiste em limitar o movimento dos animais, impedindo-os de se mexerem livremente, durante aproximadamente 1 hora.

A forma mais simples e mais utilizada para concretizar este parâmetro dos protocolos de stress é a colocação dos animais em *Tupperwares*, deixando uns furos na tampa para a sua respiração. Assim, os animais são confinados a um pequeno espaço onde não se conseguem mexer.

O principal inconveniente deste método assenta no tempo dispendido para retirar os animais das gaiolas e colocá-los nas *Tupperwares*.

- ***Overcrowding:***

O *Overcrowding* (representado na Figura 2.7) tem uma vertente social, em que se colocam muitos indivíduos num espaço reduzido, desencadeando várias acções de disputa entre os ratos

por território, ração, e água. Vários animais, como cães e gatos, reagem mal quando partilham o mesmo espaço com muitos outros espécimes aos quais não estão habituados, despoletando disputas facilmente. Também os pintainhos, nos aviários, disputam muito o território e cedem ao stress, atacando-se mutuamente, devido ao espaço reduzido que têm de partilhar, e de forma a evitar este acontecimento, os bicos dos animais são retirados.

Este processo consiste em juntar muitos animais em apenas uma gaiola, e apesar da sua duração variável, este é normalmente realizado durante 1 hora.

Este agente stressor não apresenta defeitos funcionais na sua aplicação.



Figura 2.7 - Exemplo do Overcrowding, com 8 ratos por gaiola (adaptado de emcs.mty.itesm.mx, 2013)

- ***Cold Water/Forced Swim Test***

Este agente stressor consiste em mergulhar o animal num recipiente com água, com uma profundidade suficiente para o forçar a nadar para evitar o afogamento. Este processo tem uma duração variável, conforme a resistência do animal e o possível grau de depressão dos roedores, não devendo colocar em a sua vida em risco.

Este processo é feito com recurso a um gobelé, com dimensões superiores comparativamente ao tamanho do rato, que é parcialmente cheio com água e na qual são colocados os animais, que nadavam até próximo da exaustão, antes de serem retirados. Este processo é exemplificado na Figura 2.8.

Este agente stressor não apresenta defeitos funcionais, e é inclusivamente aplicado da mesma forma noutras instituições académicas e de investigação. Contudo, este agente stressor não tem interesse para o projecto pois irá continuar a ser realizado da mesma forma



Figura 2.8 - Roedor durante o *Forced Swim Test* (adaptado de <http://www.eb-instruments.com>, 2013)

- ***Hot Air***

Este princípio stressor consiste num jacto de ar quente direccionado ao animal durante 1 hora, com uma vertente de stress térmico e outra associada ao ar projectado sobre o animal, que faz as partículas da cama ressaltarem e serem projectadas sobre os animais.

A melhor forma de aplicar este processo é com recurso a um secador de cabelo, apontado directamente aos animais. Assim, a parte superior da caixa é retirada e posteriormente é apontado um secador aos animais. No entanto, este método cria muitos problemas, pois ao ser efectuado numa gaiola de cada vez, despende muito tempo aos tratadores/investigadores, e ao mesmo tempo, o ruído gerado pela utilização do secador pode afectar as restantes *racks*, funcionando também como agente de stress.

A repetibilidade deste método é reduzida, pois não há controlo sobre a duração do processo, nem sobre a temperatura a que os animais ficam sujeitos. Além disso, não são controlados parâmetros como a distância a que o secador actua sobre as gaiolas: este varia bastante conforme o investigador e, devido à sensibilidade dos animais, este processo pode ser prejudicial, levando à morte dos animais.

- ***Fox/Cat Scent***

Este agente stressor consiste em introduzir um odor que incomode os animais, normalmente a essência de um predador natural dos ratos.

Este processo pode ser alcançado com uma essência de um predador, como um gato ou uma raposa, que irá intimidar os animais e colocá-los em alerta. Este processo é de difícil concretização, pois se o cheiro se entranhar e propagar para outras gaiolas, pode interferir com outros protocolos de stress, com animais em repouso ou recuperação, ou ainda com os animais de controlo quando são transferidos para a sala comum do Biotério.

Este estímulo stressor tem diversos pontos a analisar, mas de momento não é aplicado no ICVS, não entrando por isso nos requisitos deste projecto.

2.4 EQUIPAMENTOS E PRODUTOS EXISTENTES NO MERCADO

Como foi descrito anteriormente, nesta área de investigação tenta-se sempre que possível garantir a repetibilidade do processo, e as mesmas condições de experimentação, levando por isso a selecção dos animais a especificações e controlo elevados, alcançando um nível de semelhança genética bastante elevada, levando à consanguinidade na reprodução dos ratos. Contudo, como também foi analisado anteriormente, a repetibilidade das condições de experimentação e dos procedimentos fica aquém do exigido, surgindo a necessidade de mecanizar os diversos processos dos modelos de stress.

Devido ao interesse, a uma escala global, nestes modelos de stress, nos últimos anos foram desenvolvidos diversos equipamentos que auxiliam na aplicação dos agentes stressores, tentando reduzir o tempo necessário para aplicar determinados agentes stressores, reduzir a carga física do investigador e/ou tratador, ter um melhor controlo de todo o processo, e principalmente, garantir uma maior repetibilidade do procedimento.

Nos parágrafos seguintes pretendem-se expor alguns exemplos dos equipamentos que se podem encontrar no mercado especializado, que são produtos de enorme qualidade, e que proporcionam enormes vantagens ao utilizador, com diversas opções e módulos adicionais, o que

vai permitindo estruturar o equipamento conforme o propósito do investigador, sendo por isso compreensível que o preço seja, por norma, elevado.

A maior parte destes equipamentos foi desenvolvido inicialmente num âmbito académico ou por centros de pesquisa e investigação, passando posteriormente para o mercado algumas das soluções, através de algumas empresas do ramo do material de laboratório ou especializadas em produtos de cuidados e tratamento animal, tal como a *Tecniplast*, *Nuaire* ou a *TSE Systems*, ou ainda por algumas adaptações como acontece com a *Research Diets Inc.*

Os produtos da *Research Diets* incidem preferencialmente sobre as preferências alimentares, como demonstrado na figura 2.9 mas permitem monitorizar, registar e quantificar o consumo de comida, e permitir ou impedir o acesso à comida, que como foi referido previamente, são os princípios do *Food Deprivation* e *Inaccessible Food*, tornando-se por isso, possíveis soluções para aplicação do modelo do Stress Crónico Moderado.



2.9 - Equipamento de controlo da alimentação de um roedor (adaptado de www.Researchdiets.com, 2013)

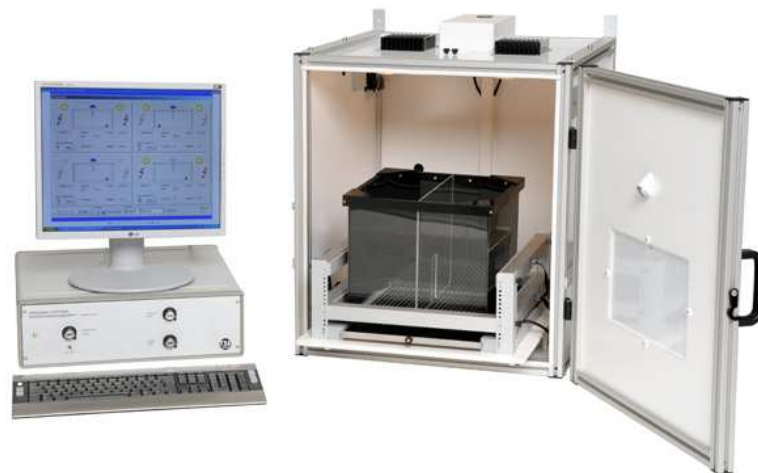
A mesma empresa apresenta ainda uma solução similar, mas direccionada para o consumo da bebida, como é apresentado na figura 2.10. Este equipamento apresenta-se como uma solução bastante apetecível para quem aplica os modelos de stress aos animais, pois para além de apresentar os mesmos princípios do *Water Deprivation* e *Empty Bottle*, permitindo monitorizar, registar e quantificar o consumo de água, e permitir ou impedir o acesso à bebida, pode ser uma solução bastante indicada para executar o *Sucrose Preference Test*. Este equipamento tem ainda a

possibilidade de melhorar drasticamente o registo de dados deste teste, reduzir o tempo de execução do teste e diminuir (ou anular) qualquer tipo de erro humano.



2.10 - Equipamento de controlo da ingestão de bebida de um roedor (adaptado de www.Researchdiets.com, 2013)

Noutro âmbito, a *TSE Systems* apresenta diversos produtos, com soluções variadas, como por exemplo, a *TSE Multi-Paradigm Conditioning System*, cujo equipamento pode inserir as soluções para o *Noise*, *Light Cycle Change* e *Strob Light*, e ainda um agente stressor adicional, os choques eléctricos. Este produto também permite efectuar diversos testes aos animais, monitorização remota por vídeo e implementação de módulos de stress extra, conforme requisito do investigador, e disponibilidade económica.

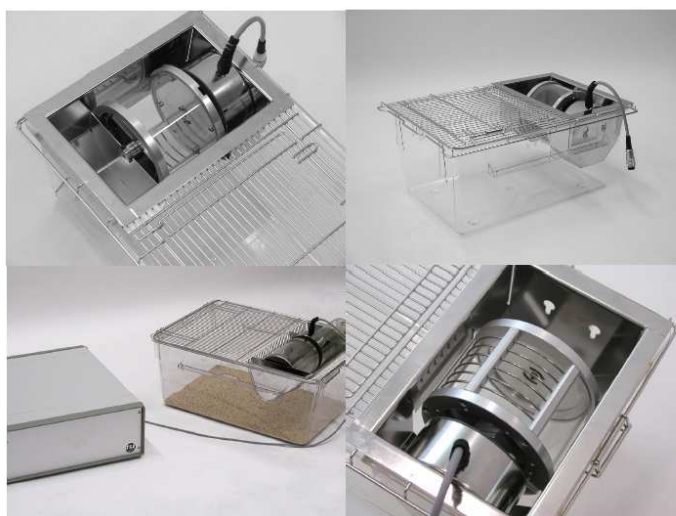


2.11 - *TSE Multi-Paradigm Conditioning System* (adaptado de www.tse-systems.com, 2013)

A *TSE Systems* apresenta ainda diversas soluções para gaiolas com especial atenção à comida e bebida dos animais, como o exemplo da figura 2.12 e da figura 2.13, na qual podem ser inseridos diversos módulos extra, conforme requisito do investigador, como módulos de stress associado à luz, ao ar e temperatura, ou módulos de desgaste metabólico, que consistem nas rodas onde os roedores se costumam exercitar, ou ainda diversos testes que normalmente são feitos aos animais, como por exemplo testes cognitivos ou testes de memória (bastante usuais neste meio de investigação, como forma de analisar e controlar as capacidades mentais dos animais aquando da aplicação dos modelos de stress). A possibilidade de efectuar este tipo de testes no mesmo equipamento que aloja os animais acrescenta bastante valor ao produto e torna-o uma óptima solução para diversas entidades que fazem investigação nesta área.



2.12 - Phenomaster (adaptado de www.tse-systems.com, 2013)



2.13 - TSE FeedTime System (adaptado de www.tse-systems.com, 2013)

Diversas instituições académicas recorrem ainda a algumas adaptações, como por exemplo, plataformas vibratórias ou giratórias, utilizadas habitualmente para outros fins, ou outras soluções rudimentares para stressar os animais e tentar replicar o *shaking*, como no exemplo da figura 2.14, que neste caso é utilizado para testes realizados em coelhos. No entanto, a solução adaptada mais comum passa pelas peneiras vibratórias, nas quais se colocam as gaiolas em cima, repetindo o processo várias vezes até concluir o processo para todas as gaiolas.



2.14 - Plataforma vibratória para coelhos (adaptado de ircmj.com, 2013)

Apesar da existência e disponibilidade destes produtos no mercado, presume-se que a maior parte deste género de equipamentos continue com uma divulgação bastante reduzida, com as instituições académicas a manterem um certo secretismo, enquanto não conseguem aprimorar o equipamento e otimizar todo o processo. Contudo, dos produtos existentes no mercado, nenhum possui as características que são requeridas para o projecto apresentado nesta dissertação, apresentando apenas algumas combinações possíveis de alguns dos agentes stressores, e a maior parte destes produtos são para gaiolas individuais, não existindo muito material para *racks* completas ou conjuntos numerosos de gaiolas.

Dos equipamentos disponíveis no mercado, é possível retirar várias ilações, e após uma análise a estes produtos e às soluções adoptadas para cada efeito, é possível basear ou adaptar algumas das soluções para o protótipo a desenvolver, tentando aproveitar a experiência e o conhecimento de companhias que se dedicam a esta área de investigação.

3 PROJECTO

3 PROJECTO

O objectivo deste projecto consiste em automatizar o processo de indução dos modelos de stress em roedores, o que permitiria poupar tempo e recursos humanos, manter os investigadores e docentes motivados, porque apesar das qualificações e prestígio que possuem são forçados a realizar tarefas morosas, cansativas e não condizentes com as suas capacidades, libertando-os assim para tarefas mais importantes e produtivas. No entanto, a principal motivação baseia-se na padronização da exposição aos diferentes elementos stressores, indiferentemente do protocolo seguido ou dos testes a que vão ser sujeitos. Para isso pretende-se desenvolver um equipamento robotizado onde os animais residam e possam ser expostos ao stress, garantindo resultados mais consistentes, apresentando uma repetibilidade que valorize os resultados das diversas pesquisas, diminuindo ainda o consumo de recursos humanos e materiais, e a redução do tempo que é necessário despendar para aplicar os modelos de stress utilizados pelos investigadores.

3.1 PROJECTO CONCEPTUAL INICIAL

O projecto conceptual inicial, desenvolvido anteriormente numa colaboração entre o DEM e o ICVS, está representado na Figura 3.1, e caracteriza o ponto de partida de onde o trabalho, inicialmente, se deveria desenvolver, realizando alterações pontuais, permitindo analisar os stressores, realizar a selecção de componentes e efectuar os desenhos técnicos para posteriormente materializar o projecto na realidade.



Figura 3.1 - Projecto conceptual inicial

O equipamento projectado na Figura 3.1 inclui soluções para parte dos problemas propostos, tais como o *Shaking*, *Tilted Cage*, *Hot Air*, e *Damp Bedding/Cold Water*, mas delegando o *Noise*, *Strob Light* e *Light Cycle Change* a uma sala equipada para o efeito, em que o equipamento serve apenas para alojar as gaiolas onde os animais se encontram. A utilização desta sala é resultado da impossibilidade de aplicar estes agentes stressores numa sala comum a todos os animais, pois influencia os animais que não estão sujeitos aos protocolos de stress, tais como animais em recuperação, animais de controlo ou animais utilizados para outras finalidades ou outras áreas.

Além destes, existe ainda o *Food Deprivation*, *Water Deprivation*, *Restraining*, *Overcrowding*, *Inaccessible Food* e *Empty Bottle*, para o qual não foi indicada nenhuma solução, resultando assim na continuação do processo manual e rudimentar existente anteriormente, que consomem muito tempo e recursos.

De forma a compreender o trabalho desenvolvido previamente, isto é, o projecto inicial, e perceber com o que iria contribuir, foi efectuado um estudo complexo ao projecto, para saber em que ponto se encontrava o trabalho e delinear as tarefas a cumprir. Foram efectuadas diversas simulações virtuais e uma análise aos mecanismos incorporados no equipamento, e analisando os diversos stressores individualmente, as especificações e limitações daí resultantes, bem como o solicitado para o equipamento no global, foram postos a descoberto alguns defeitos de projecto, com gravidade variável, o que tornou inviável desenvolver o resto do projecto a partir deste ponto.

Assim, os defeitos e carências encontrados no projecto elaborado anteriormente, bem como uma breve justificação dos mesmos, são apresentados de seguida:

- O equipamento tem 2120 mm de altura, 1020 mm de largura e 630 mm de comprimento, o que não é compatível com a altura das portas do Biotério da Escola de Saúde da Universidade do Minho, não permitindo que esta se desloque entre as várias salas onde os protocolos de stress e os vários testes ocorrem, sem ter de retirar as 30 caixas do equipamento, o que inclui tirar as mangueiras do ar e da água de cada uma das gaiolas, sobrando por fim a única opção para a deslocar, arrastando-a deitada ou inclinada entre as salas.



Figura 3.2 - Projecto inicial para aplicação dos protocolos de stress

Como se pode verificar na Figura 3.2, o equipamento não tem um sistema para facilitar a movimentação, ou seja, para movê-lo entre as salas é necessário arrastar cerca de 300 kg pelo chão. Este problema tem uma solução rápida, que passa pela adição de rodízios à estrutura, aumentando no entanto a altura total em cerca de 120 mm, o que como já foi mencionado anteriormente, não é compatível com a altura das portas do Biotério do ICVS, aumentando apenas o problema inicial;

- Como se pode ver na Figura 3.3, as prateleiras não têm fixação para as gaiolas de forma a garantir que estas não caem durante o *Shaking* e o *Tilted Cage*, isto é, as gaiolas apenas são pousadas, ficando à mercê da vibração e, obviamente, da gravidade, o que durante o funcionamento do equipamento se traduz num risco enorme de queda das gaiolas. Obviamente que estes factores apresentam-se como inconvenientes, pois para além das eventuais despesas em gaiolas novas, estes podem provocar a morte dos ratos e arruinar o trabalho empreendido no stress dos animais;



Figura 3.3 - Pormenor das prateleiras

- A estrutura foi projectada com base em medidas erradas das gaiolas ou com base em gaiolas diferentes das utilizadas no Biotério da Escola de Ciências da Saúde, o modelo 1290D Eurostandard Type III da Tecniplast (modelo imposto/sugerido pelos investigadores do ICVS), ou seja, as gaiolas que são utilizadas na realidade não cabem na *rack*, já que cada andar tem 249 mm de altura neste modelo, mas as gaiolas, na realidade, têm 290 mm de altura;

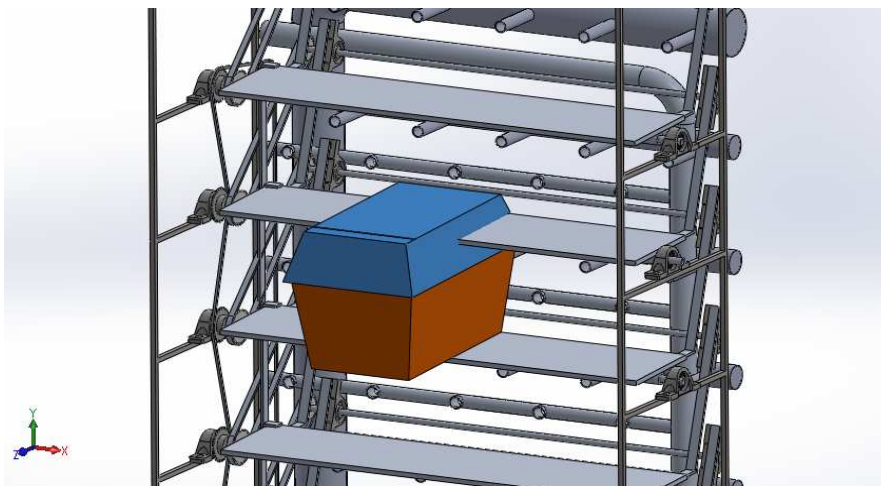


Figura 3.4 - Pormenor da incompatibilidade da Gaiola 1290D Eurostandard Type III da tecniplast na estrutura

- O *Hot Air* não funciona devidamente, o que se traduz numa distribuição irregular do ar pelas diversas gaiolas devido a perdas de carga, não permitindo simular as propriedades de um secador de cabelo em cada uma das gaiolas (processo utilizado na realidade), o que não possibilita

a repetibilidade ou controlo do processo porque os vários animais têm diferentes níveis de stress conforme a posição e andar da sua gaiola na estrutura.

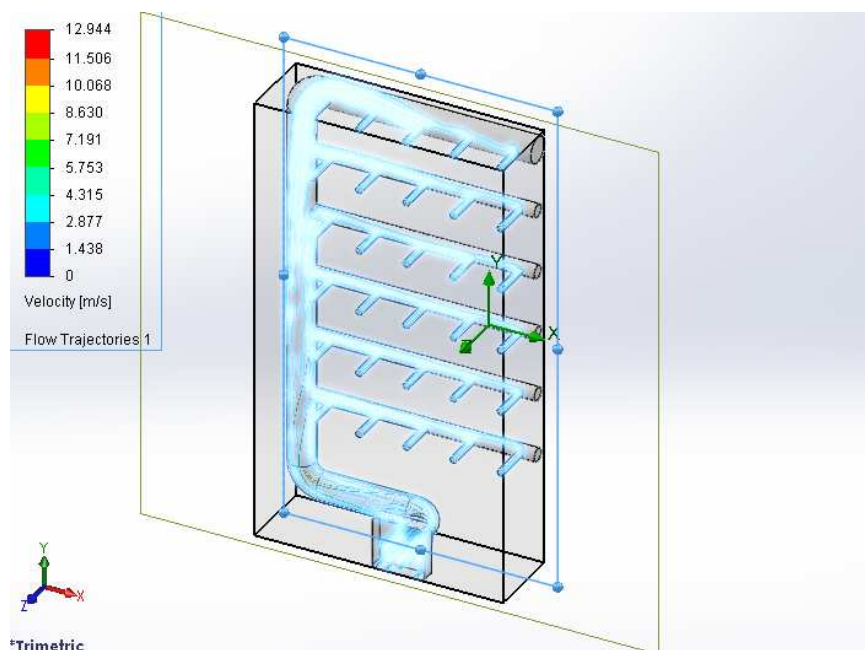


Figura 3.5 - Pormenor da simulação do escoamento do ar no Flow Simulation do SolidWorks

Através de uma pequena simulação efectuada no *Solidworks Flow Simulation* 2012, utilizando um ventilador fictício, com capacidade industrial, foi possível verificar que este sistema de tubagens não distribuiria o ar uniformemente, nem em termos de velocidade do ar, caudal de ar nem da temperatura do mesmo. Exportando os dados para o Microsoft Excel, é possível verificar que a distribuição do ar é irregular, devido ao facto de as tubagens de distribuição não encontrarem dispostas da melhor forma, assim como as áreas de secção que não se encontram correctamente dimensionadas e têm um elevado número de componentes que induzem a perda de carga, como por exemplo os 35 T's que fazem parte da estrutura.

A simulação efectuada baseia-se num estudo de elementos finitos, para o qual se utilizou uma malha mais fina do que a pré-definida, mas com os restantes parâmetros de entrada definidos por defeito pelo próprio software. Assim, através da simulação no *Flow Simulation*, definiram-se os parâmetros de estudo, os *Surface Goals* associados às tubagens de saída do ar (com a saída para as gaiolas definidas como saídas para a pressão ambiente) e finalmente a exportação dos resultados para Microsoft Excel, para análise e tratamento.

Na Tabela 3-1, é representada a velocidade do ar à entrada de cada uma das gaiolas da *rack*, e apesar de a velocidade média, 10.9 m/s, ser próxima dos 10 m/s pretendidos para simular um secador de cabelo em cada uma das gaiolas, existem discrepâncias notórias e muito significativas entre os vários andares. Por exemplo, os animais do último andar seriam atingidos com ar a cerca de 19 m/s e, por sua vez, os animais em patamares inferiores, seriam afectados por uns teóricos 4.8 m/s, aproximadamente 1/4 da velocidade pretendida. No mesmo seguimento, 14 das 30 gaiolas seriam atingidas com metade da intensidade do ar comparativamente ao andar do topo, o que é péssimo para efeitos de controlo, experimentação e análise, pelo facto de animais sujeitos a diferentes condições, são caracterizados por diferentes níveis de stress e posteriores respostas, o que não permite concluir nada verdadeiramente.

Tabela 3-1 – Esquema representativo da velocidade do ar à entrada de cada uma das gaiolas da rack [m/s]

19	18,6	19,2	19,1	18,4
6,9	7,8	7,2	7,6	12,6
6,6	11,5	7,1	5,5	12,1
6,9	12,9	11,8	4,8	13,7
13,8	10,4	13,3	7,9	9,4
13,8	7,1	6,6	7	8,7

A simulação relativa à temperatura do ar à entrada das gaiolas também é significativa, apresentando uma diferença de 13 °C entre as diversas gaiolas, variando entre os 29 e os 42 °C. Tendo em conta que estes ensaios de stress têm a duração de 1 hora, estas altas temperaturas podem levar à morte dos indivíduos sujeitos a stress, pois os animais utilizados são bastante sensíveis a estes factores agressivos. Esta diferença de temperatura pode ser minimizada com recurso a um correcto isolamento das tubagens, mas foi definido pelos investigadores, futuros utilizadores, que a questão da temperatura não era essencial para o objectivo final, abdicando-se então do factor da temperatura neste tópico do protocolo de stress, pois o essencial é o jacto de ar e os seus efeitos;

- O *Damp Bedding* é um sistema confuso, que cria dúvidas relativamente à sua funcionalidade, isto porque o reservatório de água que está no topo da estrutura (tal como se pode verificar pela Figura 3.2), alimenta a bomba de água na base, que posteriormente bombeia a água pelas tubagens para as gaiolas que se encontram entre os 250 mm e os 2000 mm de altura, relativamente à bomba. O diâmetro considerável das tubagens (50 mm de diâmetro do canal principal e 25 mm do de distribuição), associado a uma disposição errónea, ou não optimizada, das tubagens, com muitas curvas e 35 T's, podem ser os motivos de uma distribuição irregular.

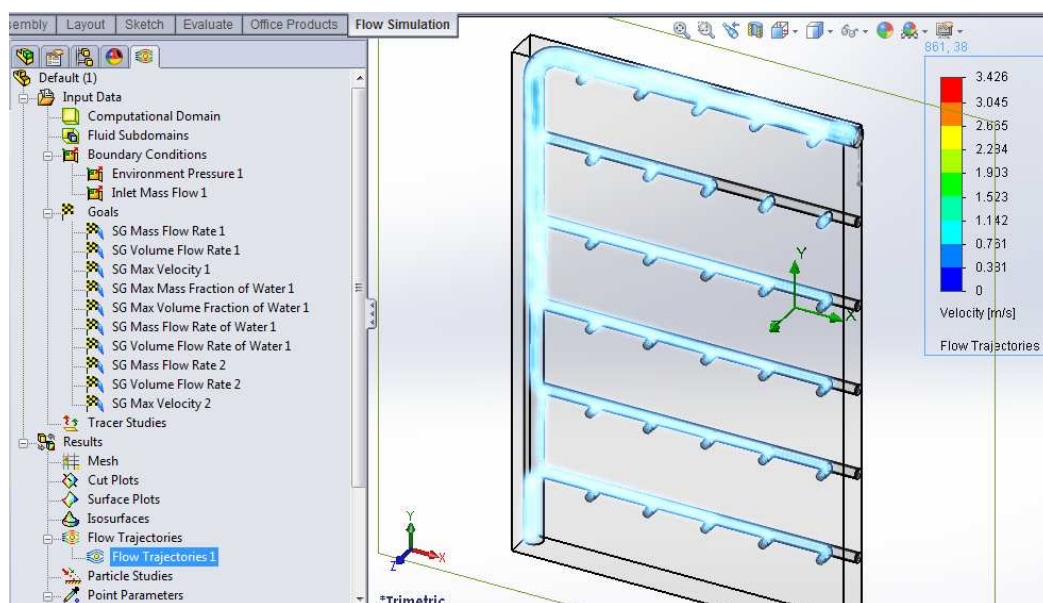


Figura 3.6 - Simulação em Solidworks Flow Simulation para o Damp Bedding

A simulação efectuada baseia-se num estudo de elementos finitos, para o qual se utilizou uma malha mais fina do que a pré-definida, mas com os restantes parâmetros de entrada definidos por defeito pelo próprio software. Assim, através de uma simulação no *Solidworks*, mais concretamente no *Flow Simulation*, definiram-se os parâmetros de estudo, os *Surface Goals* associados às tubagens de saída de água, e a exportação dos resultados para Microsoft Excel, permite a obtenção dos valores apresentados na

Tabela 3-2. Esta representa a distribuição percentual da água bombeada pelas diversas gaiolas da *rack*, na qual se verifica que a distribuição feita da forma indicada não é uniforme. Assim, algumas gaiolas seriam praticamente inundadas em comparação com outras gaiolas onde tal não acontece, colocando o processo em risco. Além da eventualidade de provocar o afogamento dos

animais, desperdiçando todo o trabalho investido no stress aplicado nos animais, os objectivos não seriam atingido pela distribuição ineficiente da água pelas gaiolas.

Tabela 3-2 – Esquema representativo da distribuição percentual da água pelas gaiolas da estrutura

9,54	8,63	8,34	6,97	6,55
0,34	0,39	0,44	0,39	0,44
1,52	1,34	1,46	1,75	2,29
2,44	1,98	1,95	2,94	4,09
2,71	2,67	2,14	3,68	5,15
3,16	2,84	3,01	4,55	6,30

- Tal como se pode verificar na Figura 3.7, existe um defeito de projecto no que diz respeito ao atravancamento do equipamento, com os mecanismos do *Tilted Cage* a interferirem com o funcionamento do *Shaking*, com a oscilação e vibração pretendida, a prateleira bate nas correias (com a possibilidade de colidir também com as polias), o que inevitavelmente induz avarias frequentes e paragens no funcionamento do equipamento;

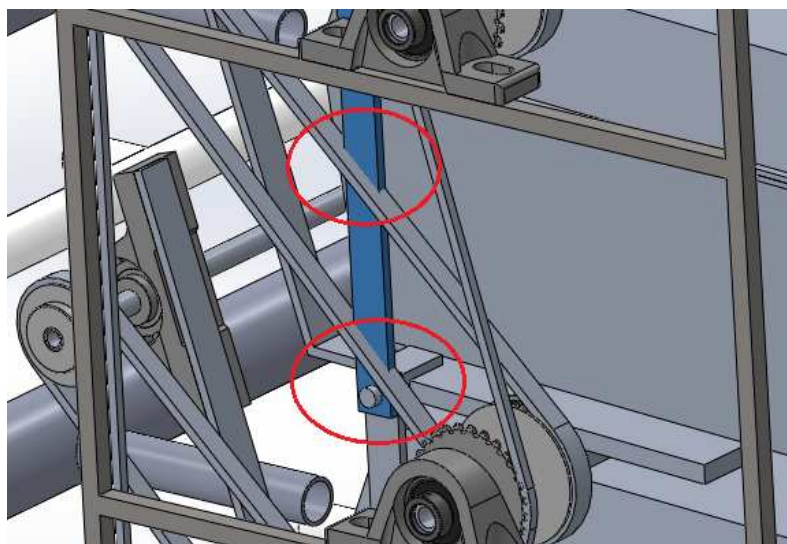


Figura 3.7 - Pormenor das correias e do extremo da prateleira

- O equipamento é desnecessariamente complexo e tem demasiados componentes móveis, onde existem muitos elementos com interferência directa nos outros, o que pode induzir diversas avarias. Como não foram previstos quaisquer processos de manutenção, torna-se complexo e bastante difícil e moroso a realização de algumas reparações, pois não existe maneira de alcançar alguns componentes, sem ter de desmontar praticamente todo o sistema, ou pelo menos um andar. Ainda que a manutenção apenas seja necessária num andar ou numa prateleira, é necessário desmontar as duas correias de todo o sistema e retirar as chumaceiras, os veios e depois a prateleira para ser possível reparar qualquer componente da prateleira;

- Analisando o movimento da estrutura, o *Tilted Cage* não cumpre o seu objectivo, isto é, o processo de inclinação da caixa a 30°, tal como se encontra representado na Figura 3.8. Esta impossibilidade deve-se ao facto de que, tendo em conta o eixo de rotação da prateleira e a altura das prateleiras e das caixas, estas batem na prateleira de cima. Além disso, uma das barras da prateleira embate nos tubos da água e do ar antes da sua suposta posição final;

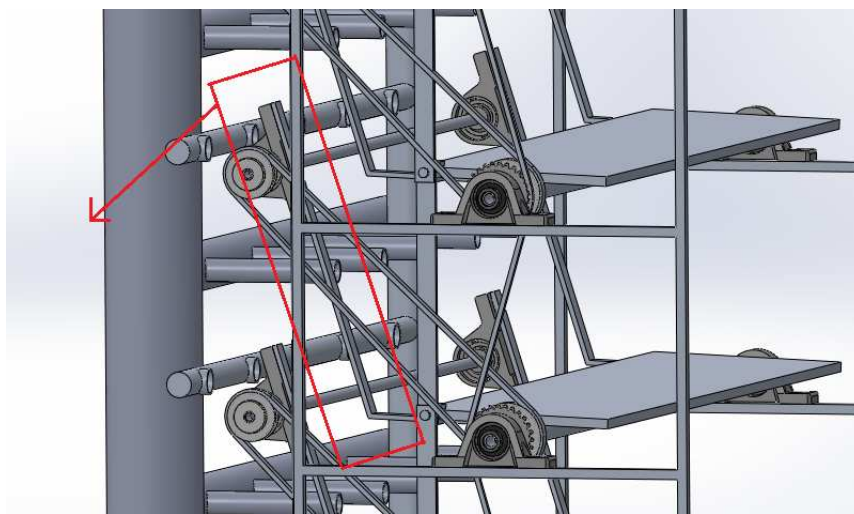


Figura 3.8 - Pormenor das chumaceiras e veios incompatíveis com o espaço existente

- A estrutura é feita de tubo quadrado de aço de 10×10 mm, o que não é suficiente devido à carga que tem de suportar. A estrutura suporta 6 andares, em que cada andar tem 5 gaiolas, e quando estas têm a comida, a água, os animais e a cama atingem os 3 kg por gaiola. Além das gaiolas há ainda o reservatório da água, os tubos do ar, os tubos da água, as prateleiras, polias, chumaceiras, veios e a própria estrutura em si.

Recorrendo novamente ao *Solidworks*, mais especificamente ao *Solidworks Cosmos Simulation*, efectuou-se uma simulação que comprovou as suspeitas iniciais, permitindo a identificação clara de alguns pontos de concentração de tensão ao longo da estrutura, prejudiciais à resistência mecânica e à sua robustez. Ao mesmo tempo, foram identificadas deformações consideráveis para cargas estáticas, atingindo cerca de 3 mm, que se agravam com cargas dinâmicas, que irão ocorrer durante o funcionamento ao longo da vida do equipamento, existindo o risco de ruptura da estrutura e danos irreversíveis no equipamento. Na Figura 3.9 está representado um dos testes efectuados alusivos à deformação mecânica e deslocamentos, e na Figura 3.10 está representado uma simulação efectuada para uma carga aplicada na estrutura equivalente ao peso dos componentes da estrutura, onde se verifica que em algumas zonas da estrutura as tensões ficam próximas do valor da Tensão de Cedência do material utilizado, o aço inox 304. Assim, sem uma carga exagerada existem pontos que atingem uma tensão de 152 MPa, valor próximo dos 206 MPa, tensão à qual o material iria sofrer a ruptura. O efeito visual da deformação é uma opção do software utilizado;

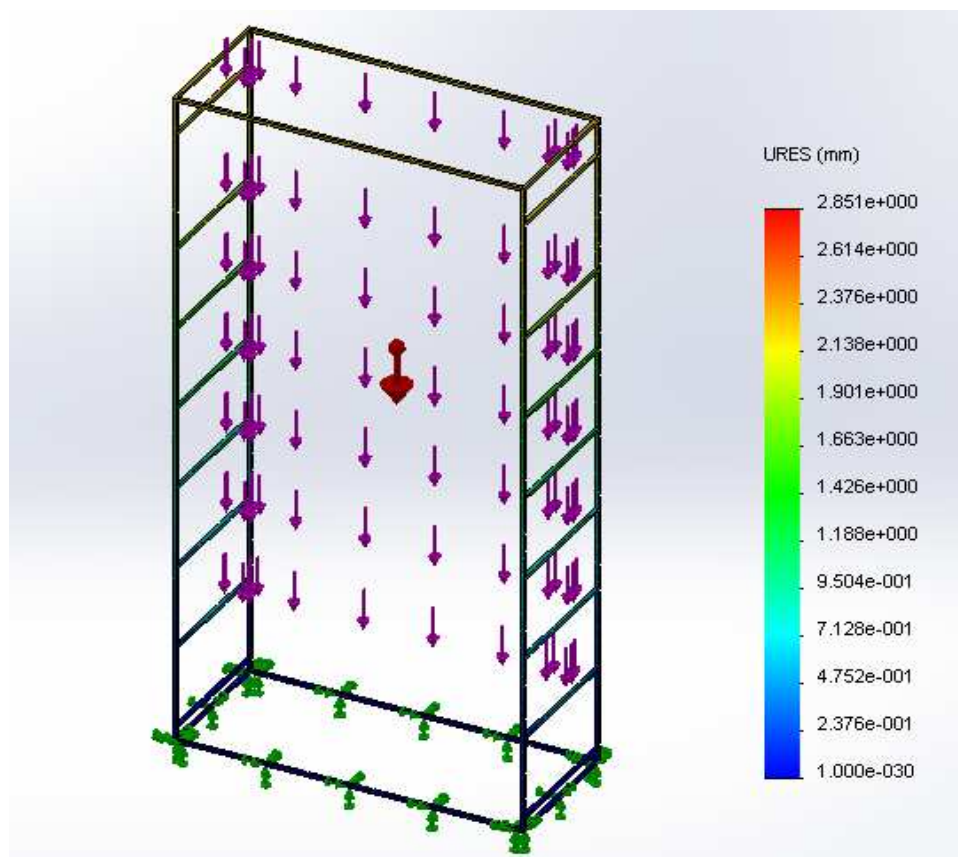


Figura 3.9 - Solidworks Simulation - deformação da estrutura

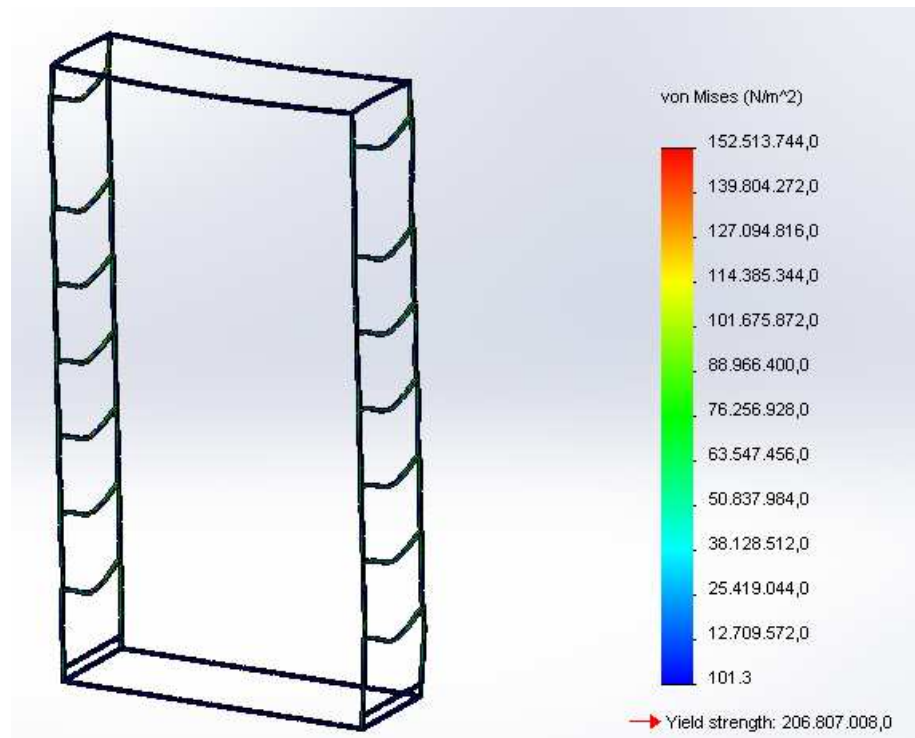


Figura 3.10 - Versão deformada da simulação efectuada relativamente à tensão na estrutura

Este estudo virtual efectuado baseia-se em elementos finitos e é efectuado definindo uma malha mais fina que a pré-definida. A parte fixa do estudo é a base, que se considera fixa ao chão, a gravidade é a normal, 9.8 m/s^2 , e a força aplicada é o somatório do peso das prateleiras obtido através da funcionalidade do próprio software, o *mass properties*, que é aplicada no mesmo sentido que a gravidade.

- Considerando que os agentes stressores *Noise*, *Strob Light*, *Overcrowding* e *Light Cicle Change* são estímulos que ficam a associados a uma sala própria para o efeito (tratando-se essa da melhor solução), ficam ainda alguns pontos por analisar. Assim, não foram abordados nem tidos em conta os stressores do *Food Deprivation*, *Water Deprivation*, *Inaccessible Food*, *Empty Bottle* e *Restraining*, que apesar do seu difícil controlo e automatização, são ainda possíveis de otimizar e simplificar, aumentando consideravelmente a repetibilidade e fiabilidade de todo o processo;

- Da mesma forma, não foram abordados e ponderados os processos de limpeza semanal das gaiolas, nem da desinfecção ao fim de cada ciclo de stress, nem de manutenção da *rack*, (factores com uma relevância significativa na utilização do equipamento a longo prazo e essencial para a saúde e higiene dos roedores). A adição destes processos iria acrescentar valor ao equipamento, simplificar o seu uso e ajudar à manutenção do equipamento, pois a limpeza é a primeira tarefa numa correcta manutenção;

- O equipamento tem diversos problemas de atravancamento a nível mecânico, com muitas cotas de diversos componentes a coincidirem entre si (interferências), dificultando a montagem do equipamento. De forma a identificar esses problemas, recorreu-se ao *Interference Detection*, uma ferramenta do *Solidworks*, que analisa a assemblagem do equipamento e detecta as interferências do modelo.

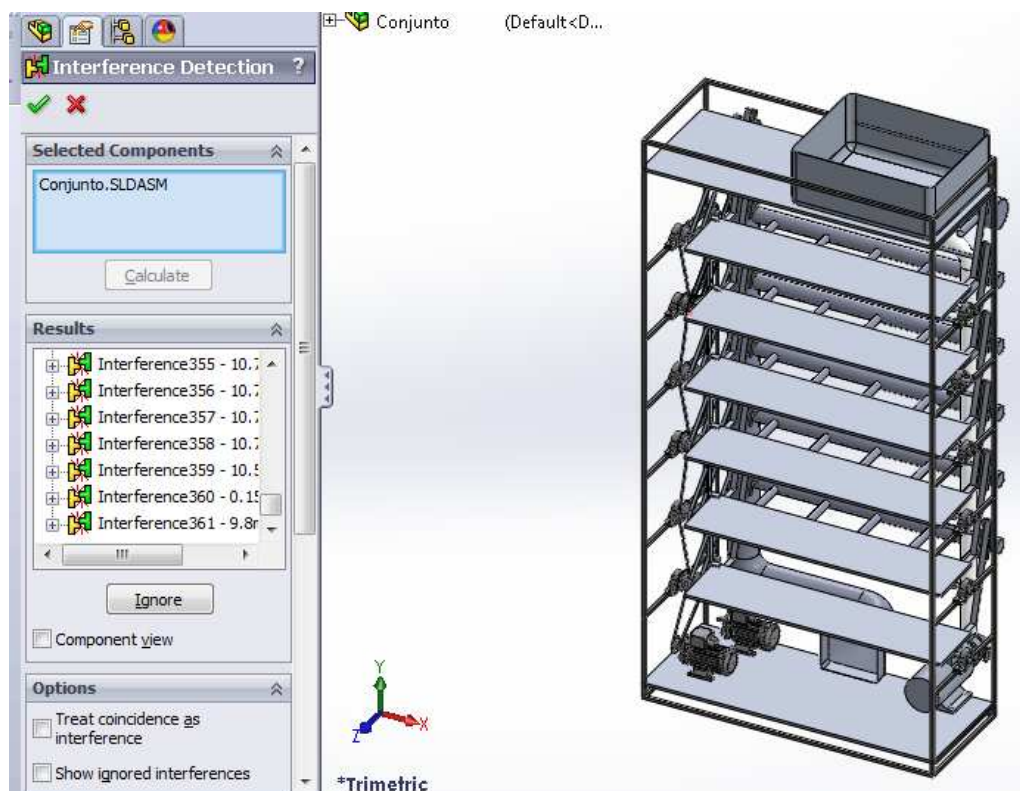


Figura 3.11 - Incompatibilidades de atravancamento - *Interference Detection*

O software detectou 361 interferências, sem contabilizar as interferências que as 30 gaiolas iriam acrescentar. Este último tópico tornou-se um factor decisivo no desenrolar do projecto, pois tanto na realização dos desenhos técnicos deste equipamento, bem como no fabrico do mesmo,

poderiam surgir muitos problemas na montagem do equipamento, com medidas não compatíveis entre os vários componentes. Apesar de não se contabilizarem as gaiolas, este número de interferências mecânicas podem ser exagerados devido a falhas aquando da definição dos *mates* para a montagem das diversas partes, por parte do anterior autor.

Concluindo, o projecto desenvolvido anteriormente, e que iria servir de base para a evolução da presente dissertação, engloba parte dos agentes stressores, mas não a sua totalidade. Assim, este está muito próximo de um rascunho onde se analisam dimensões e o avançamento geral do equipamento, sem grandes preocupações noutras vertentes, como os processos de fabrico, manutenção, custos, resistência mecânica, robustez, funcionalidade, simplicidade, dimensões e a inclusão de uma lista de stressores coerente com o pretendido, e apresentando bastantes defeitos e dificuldades técnicas na futura construção e utilização do equipamento.

Desta forma, dado que o projecto apresentado contém diversos defeitos e lacunas, decidiu-se que o trabalho a efectuar não iria seguir a partir deste ponto inicial, pois as alterações necessárias implicariam mais trabalho do que um projecto partindo do ponto zero, o que não significa necessariamente que todo o trabalho desenvolvido pela parceria DEM/ICVS seja descartado, visto que certas ideias e mecanismos projectados anteriormente ainda podem ser adaptados de forma proveitosa.

3.2 NOVO PROJECTO CONCEPTUAL

Após a realização das tarefas de pesquisa e recolha de informações e a definição do produto a ser desenvolvido, do estado da arte e estudo da concorrência, torna-se crucial para o desenrolar do trabalho estabelecer as especificações de projecto. Esta acção é indispensável pois, além de proporcionar o sentido e a definição do problema na forma funcional, quantitativa e qualitativa, formalizando a função do projecto, fornecendo a base sobre a qual serão fundamentados os critérios de avaliação e de todas as tomadas de decisão executadas nas etapas posteriores ao processo de projecto.

A actividade de elaboração das especificações de projecto, principal resultado da fase de projecto informacional, tem vindo a ganhar cada vez mais importância no panorama industrial, sendo por isso alvo de investigação, tendo sido desenvolvidas metodologias que transformam, sistematicamente e de forma gradual, a partir do planeamento do produto, as necessidades dos consumidores em requisitos dos consumidores e estes em requisitos e especificações técnicas do produto, através da transformação:

Planeamento do Produto → Necessidades do Cliente → Requisitos do Cliente → Requisitos do Projecto → Especificações do Projecto → Desenvolvimento da Concepção

A sistematização trouxe vários benefícios ao processo de desenvolvimento de produtos, como por exemplo:

- A obtenção de especificações de melhor qualidade, mais precisas, claras e completas;
- Várias ferramentas e métodos foram desenvolvidos e podem ser adoptados nas diversas actividades de recolha e transformação das informações pertinentes;
- A sistematização leva o responsável pelo projecto a um estudo mais aprofundado e a um maior entendimento das necessidades de todos os envolvidos no ciclo de vida do produto;
- As especificações assim obtidas reduzem custos e tempos de desenvolvimento, constituem a base de todas as decisões a serem tomadas e facilitam o desdobramento funcional e o planeamento das actividades de projecto e dos testes do produto.

3.2.1 Requisitos gerais

A primeira actividade, e também a mais importante, do projecto do produto é a identificação e recolha das necessidades do cliente, passando estas necessidades a assumir o papel da voz do consumidor, o que deve ser abordado como prioridade. Como tudo o resto deriva destas necessidades, a linguagem e os termos que expressam o que o consumidor precisa, a sua vontade, desejos e expectativas devem ser claras, expostas numa linguagem natural, e em fase alguma colocadas em segundo plano. As necessidades dos clientes, para serem de fácil visualização e adopção pelos projectistas, devem ser transformadas, resumidas, agrupadas e classificadas numa linguagem apropriada para expressar atributos de qualidade do produto que passam a ser denominados de Requisitos do Cliente. Estes requisitos do cliente são, geralmente, expressos na forma qualitativa, como por exemplo, o produto deve ser de baixo custo, de fácil operação, de fácil manutenção, permitir acesso directo às gaiolas, ter boas condições de higiene e segurança para os animais, deve ser possível deslocá-lo, entre outros critérios.

Quando os requisitos do cliente são transformados e desdobrados, e a estes passam a ser atribuídas dimensões, os resultados dessa conversão serão denominados de requisitos de projecto. O requisito de projecto é uma qualidade, um atributo com grandezas definidas, como por exemplo, o requisito do cliente expresso por “fácil manutenção” pode ser exposto em requisito de projecto através de valores para o tempo médio entre manutenções preventivas ou correctivas, tempo máximo de manutenção correctiva para determinados componentes, custo médio de manutenção correctiva, tornando um requisito qualitativo num requisito quantitativo.

Na Engenharia, os problemas de projecto de produtos são multi-variáveis, multi-critérios, multi-disciplinares e, as variáveis e critérios são do tipo quantitativo e qualitativo. Nestes casos, a formulação da optimização torna-se bem complexa, fugindo aos padrões clássicos de formulação matemática de optimização, tendo surgido vários conceitos para tratar desses problemas, que no desenvolvimento deste projecto se centram na optimização integrada do produto. As opções sobre as áreas da optimização integrada de produto prendem-se com os objectivos do projecto em questão, e são o resultado de um compromisso sobre algumas vertentes inerentes aos critérios do cliente, e dos graus de prioridade dos mesmos.

Quando são atribuídas grandezas a um atributo ou qualidade de um produto, estas deverão ser passíveis de mensuração. O conjunto de atributos ficam assim definidos, adicionados aos modos e

às grandezas para avaliação de conformidade estabelecidas, e com prioridades de atendimento, denominadas de especificações de projecto do produto. Essas especificações de projecto são o ponto de partida para a concepção do produto e o meio de verificar se o projecto atende ou não às necessidades do cliente. Assim, as necessidades do cliente são:

- Equipamento que ponha em prática os protocolos de stress de forma automática, ou semi-automática, com o mínimo possível de interacção humana, e que também sirva de alojamento aos animais;
- Equipamento que não interfira com os protocolos de stress das outras racks, com controlo de ruído, luz, poluição e contaminação do ar, da comida e da água;
- Manter as condições de higiene e segurança das gaiolas, e ainda de conforto quando não estão a ser usadas para stressar os ratos, ou seja, quando os animais estão em repouso;
- Permitir a troca da “cama” de forma simples e rápida sem interferência na estrutura;
- Garantir o cumprimento rigoroso dos protocolos, tanto para os animais sujeitos ao stress, como os animais de controlo, através de registo dos diversos parâmetros que influenciam o stress;
- Alterar o mínimo possível as gaiolas onde os ratos ficam, de forma a manter o grupo de controlo nas mesmas condições;

3.2.2 Especificações do equipamento

Para elaborar o novo projecto do equipamento é necessário efectuar uma lista de especificações, pois o que se pretende é recriar e reproduzir a forma como estes estímulos são aplicados, mas de forma automática ou que possibilite repetibilidade no processo, desdobrando os requisitos em especificações técnicas e mecânicas e enquadrá-las nas soluções que se pretendem implantar no equipamento.

Desta forma, podemos listar as seguintes especificações/requisitos do equipamento, obtidas através da análise dos procedimentos de stress aplicados no biotério da Escola de Ciências da Saúde, e entrevistas e opiniões dos próprios investigadores:

- N.º mínimo de caixas: 20 caixas com 435×275×290 mm;
- Facilidade de movimentação;
- Fixação segura das gaiolas nas prateleiras;
- Facilidade de acesso ao interior da gaiola;
- Manter a zona de habitação das gaiolas o mais intacta possível;
- Frequência do Shaking: entre 1 e 2 oscilações por segundo (1 - 2 Hz);
- Amplitude da oscilação do Shaking: entre 20 e 50 mm;
- Ângulo do Tilted Cage: entre os 30 e os 45°;
- Fixação das prateleiras quando estiverem inclinadas na posição máxima;
- Volume de água por gaiola no Damp Bedding: entre os 0.75 e 1 litro;
- Confinar os animais a um espaço entre os 50 e os 70 mm no Restraining;

Assim, após terem sido dissecados todos os pormenores e requisitos importantes para o produto, passou-se à fase seguinte, seleccionando os mecanismos que se porventura se podem implantar para automatizar os paradigmas de stress.

3.3 MECANISMOS DOS AGENTES STRESSORES

Para desenvolver o projecto, e tendo em conta que já se conheciam as necessidades, restrições e muitos dos pormenores importantes para o equipamento, foram efectuadas várias *brainstormings* onde foram sugeridas diversas soluções para cada um dos agentes stressores, bem como para a configuração geral da estrutura, tendo em conta as condições de utilização que o equipamento impõe. Assim, com a participação de diversos intervenientes, com formação académica em diversas áreas e com diferentes experiências profissionais, foram sugeridas diversas soluções possíveis para introduzir no equipamento, que posteriormente foram analisadas de forma a encontrar a melhor solução, de forma a ser eficaz e adequada para a sua finalidade, exequível e barata, ficando a decisão final acerca da opção a seguir para cada agente stressor à responsabilidade dos representantes do ICVS, sustentado pela opinião dos outros intervenientes no processo.

3.3.1 Possíveis mecanismos de indução de stress

De seguida, são expostas de forma bastante sucinta as soluções propostas, que formaram uma lista a partir da qual se pretende definir a melhor solução:

Shaking

- Motor com um peso (uma massa) descentrado do rotor, tal como exemplificado pela Figura 3.12, fixo em cada uma das gaiolas, que quando em funcionamento cria uma vibração, com a intensidade da vibração dependente do peso do corpo descentrado, da distância normal do eixo do rotor ao centro de massa do corpo, e da velocidade da rotação. Este tipo de mecanismo é utilizado em diversos objectos que têm necessariamente de vibrar, como os vibradores utilizados na construção civil ou nos telemóveis;



Figura 3.12 - Micro motor de vibração (adaptado de www.ecyberspaces.com, 2013)

- Prateleira, com um eixo de rotação central, em que um motor eléctrico ou pneumático faz funcionar um sistema Biela-Manivela que actua sobre a borda da prateleira, para provocar uma oscilação vertical alternada;
- Actuador pneumático linear a actuar alternadamente sobre as extremidades da prateleira, que desliza horizontalmente por uma calha própria da estrutura de alumínio;
- Solenóides a actuarem alternadamente sobre as extremidades da prateleira, que desliza horizontalmente por uma calha própria da estrutura de alumínio;
- Motor eléctrico a fazer rodar um veio, com um sistema de cames, em que as prateleiras são o seguidor, forçando as prateleiras a deslocarem-se num movimento oscilatório horizontal;

Tilted Cage

- Sistema de roldanas, com um motor que quando enrola um cabo levanta uma das extremidades das caixas, ou da prateleira inteira;
- Sistema porca-parafuso, actuado por um motor, que transforma o movimento rotativo num movimento linear, que vai levantando as prateleiras que possuem um eixo de rotação central;
- Actuadores pneumáticos lineares situados numa das extremidades das gaiolas, que quando actuados levantam as gaiolas;
- Solenóide na base da gaiola, que quando actuado levanta a gaiola ou a prateleira inteira;

Hot Air

- Factor da temperatura:
- Colocar uma resistência eléctrica no interior da gaiola. Este tipo de resistência é muito utilizada para aplicações industriais em que seja necessário aquecer gases em escoamento, e pode ser aplicado para este pequeno volume se a resistência também for a uma pequena escala;



Figura 3.13 - Resistência alhetada (adaptado de www.casadasresistencias.pt, 2013)

- Colocar elementos de aquecimento cerâmicos de infra-vermelhos, como os da Figura 3.14, no interior da gaiola. Este tipo de aquecedor é utilizado em muitas aplicações industriais, como por exemplo em estufas e fornos para, por exemplo, secar tintas e vernizes ou retirar humidade de uma variedade de matéria-prima;



Figura 3.14 - Aquecedor cerâmico (adaptado de www.casadasresistencias.pt, 2013)

- Fio de Nicromo (Ni-Cr) disposto uniformemente acima da grelha, no interior da grelha. Este fio, quando atravessado por uma corrente eléctrica aquece, podendo ficar em brasa e romper se a intensidade da corrente eléctrica for demasiado alta. Este tipo de fio é utilizado em muitas aplicações comuns, como por exemplo numa grande gama de aquecedores domésticos, e pode ser revestido num silicone próprio para proteger os materiais que entrem em contacto com o fio e evitar qualquer curto-circuito;

- Lâmpada de tungsténio, colocada no interior, que aquece quando está acesa. Esta é a solução mais simples e barata;
- Manta de aquecimento, colocada debaixo ou ao redor da gaiola. Apesar de o ar não passar directamente pela fonte de calor, a gaiola ia aquecendo, e consequentemente o ar que circulava no seu interior seria quente;
 - Factor do jacto de ar:
- Ventilador de pequeno porte, axial ou centrífugo, inserido no interior de cada gaiola;
- Ventilador de grande carga, com uma distribuição feita pela estrutura através de tubagens, infligindo todas as gaiolas em simultâneo;
- Ventilador exterior à gaiola com um jacto de ar direccionado;
- Sistema de ar comprimido com entradas para o interior das gaiolas;



Figura 3.15 - Exemplos de ventiladores de pequeno porte (adaptado de www.sunon.com, 2013)

Water Deprivation/Empty Bottle

- Bomba de água para aspirar a água das garrafas para um local apropriado;
- Motor que actua num sistema de roldanas directamente na garrafa, que quando enrola o cabo puxa a garrafa para fora da gaiola;

Damp Bedding

- Motor de passo a actuar um pequeno reservatório, aberto no topo e cheio de água, no interior da gaiola, que quando actuado roda e despeja a água do reservatório;
- Reservatório no topo da estrutura, com distribuição da água através de tubagens apropriadas, com a água a descer por gravidade. Com uma correcta distribuição é possível aproveitar a gravidade e a capilaridade de tubos com diâmetro reduzido para alcançar um volume igual entre os vários andares;
- Injecção de água directamente da rede em cada uma das gaiolas;

Food Deprivation/Inaccessible Food

- Pá actuada por um motor, ou um actuador pneumático, para empurrar a comida para fora da gaiola;
- Criação de um sistema de alimentação novo, mais propriamente um cilindro, que é retirado pela lateral da gaiola através da actuação de um actuador pneumático ou um solenóide;
- Cilindro que permite o acesso à comida em metade da sua área, ou seja, 180º de grelha, e impede esse mesmo acesso na outra metade, ou seja, 180º de parede lisa e fechada, actuado por um motor de passo para controlar o acesso ;

Restraining

- Parede móvel actuada mecanicamente, que confina os animais a um espaço reduzido numa das extremidades da gaiola;
- Pá que se desloca do exterior para o interior quando actuada mecanicamente, confinando os animais a uma das extremidades da gaiola;

Light Cicle Change

- Cortina exterior, a envolver toda a estrutura para cobrir as gaiolas e garantir a escuridão, e lâmpadas LED inseridas na gaiola e/ou na estrutura para garantir a luz quando necessário;
- Cortina ou estore que desliza lateralmente pelas calhas próprias da estrutura de alumínio, para garantir a escuridão, e lâmpadas LED inseridas na gaiola e/ou na estrutura para garantir a luz quando necessário;

Noise

- Implementação de componentes apropriados em pontos estratégicos da estrutura, como campainhas eléctricas, colunas de som, buzinas ou sirenes;
- Mecanismo de quatro barras, com uma das barras metálica a bater repetitivamente numa chapa ou num tambor;
- Cilindro metálico actuado por um motor, com peças metálicas soltas no seu interior, como parafusos, porcas e esferas, que quando em rotação provocam ruído;

Strob Light

- Lâmpadas *Strob* (estroboscópicas) na extremidade de braços móveis giratórios que podem afligir todo o perímetro da estrutura;
- Lâmpadas LED, inseridas no interior de cada gaiola, que piscam intermitentemente;

Overcrowding

- Passagens entre as diversas gaiolas, com portas que apenas abrem num determinado sentido, direccionado para a gaiola pretendida, e apenas quando se pretendesse aplicar este stressor. Desta forma, os animais podem-se deslocar no sentido permitido, e passar para a gaiola ao lado mas não podem voltar à gaiola de origem;

3.4 DESENVOLVIMENTO DO PROJECTO CONCEPTUAL

Para desenvolver o protótipo foi necessário cobrir muitas etapas e correcções no projecto, até se alcançar um ponto óptimo do ponto de vista dos requisitos do produto. O equipamento pode ser dividido em 2 partes, uma vertente estrutural, que engloba os aspectos associados à própria estrutura, higiene e segurança, atravancamento mecânico das gaiolas no equipamento, entre outros, e a outra, mais direccionada para a aplicação e automatização dos agentes stressores e das restrições e interferências entre os vários agentes stressores. A componente estrutural do equipamento engloba os aspectos relacionados com o alojamento dos animais nas suas gaiolas, a colocação das gaiolas nas prateleiras, as questões de locomoção da própria estrutura e questões de limpeza, para além de todos os pormenores que pudessem interferir com a outra parte do projecto, a aplicação dos agentes stressores. Desta forma, a estrutura vai ser baseada no formato das *racks* habitualmente disponíveis no mercado, com as alterações apropriadas à finalidade do equipamento. Assim, a outra parte do projecto consistia essencialmente na aplicação dos agentes stressores, e em vários mecanismos foram seguidas as principais características dos produtos próprios para a aplicação dos agentes stressores que se podem encontrar no mercado como foi analisado anteriormente.

3.4.1 Projecto da componente estrutural

Nesta parte do projecto foram analisadas diversas soluções de forma a encontrar a solução ideal conforme as circunstâncias iniciais disponíveis para eventualmente construir o primeiro protótipo deste equipamento.

Inicialmente foi sugerido utilizar perfis de alumínio, como o exemplo Figura 3.16, para construir toda a estrutura, devido a todas as vantagens que acarretava a sua utilização, mas essa opção foi considerada inviável por motivos financeiros por parte dos investigadores do ICVS, optando então pela solução da utilização de tubo quadrado de aço. Neste ponto, por parte das pessoas que de direito decidiam o rumo a seguir, apenas foi considerado o custo do m³ de cada material, e do preço do metro de tubo de aço vs perfil de alumínio. Apesar da diferença do preço por metro de tubo do alumínio ser superior, o alumínio seria a opção mais económica devido ao dinheiro que se poderia poupar em soldadura e mão de obra. Entre as diversas possibilidades,

também foi ponderada a utilização de chapa de aço polida, que esteticamente era muito apelativa, mas que devido ao acabamento torna-o um material mais caro comparativamente ao aço inoxidável, levando à decisão de enveredar pela alternativa do aço inoxidável, que apresenta boa resistência mecânica, está disponível em chapa, tubo quadrado, veios maciços, veios ocos e, como o próprio nome indica, não sofre oxidação, garantindo uma boa resistência à corrosão.

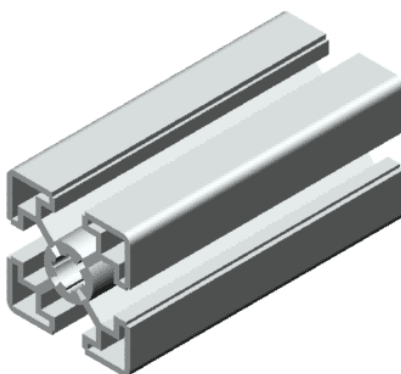


Figura 3.16 - Exemplo de um perfil de alumínio (adaptado de www.minitecframing.com, 2013)

3.4.1.1 Estrutura

A base de todo o equipamento será assente numa estrutura tubular soldada, com o mesmo formato do equipamento inicial mas com dimensões diferentes.

Para simplificar o processo de fabrico, montagem, manutenção e posterior expansão, a estrutura é composta por módulos, de 2 andares cada, em que na base ficarão os vários componentes essenciais para a função do protótipo, como será referido mais adiante.

Após várias alterações no decorrer do processo de projecto, a decisão final dos representantes do ICVS definiu que o equipamento terá 4 andares, e cada andar/prateleira terá 6 colunas, isto é, 6 gaiolas por andar, o que possibilita um total de 24 gaiolas na *rack*, ou seja, 48 animais.

Inicialmente tinha sido proposto construir a estrutura num perfil de alumínio, indicado para este tipo de *racks* e prateleiras, com muitas e variadas vantagens, mas com um preço por metro muito superior ao do aço inox 304, material que acabou para ser seleccionado para a estrutura. Assim, a estrutura é feita de tubo quadrado de 20x20 mm, acoplando os dois módulos através de

parafusos. Esta estrutura base é resistente, mas ainda assim irá ser reforçada, devido às solicitações mecânicas a que poderá ficar sujeita durante o seu normal funcionamento.

As dimensões da estrutura são 2000×1100×500 mm, enquanto o módulo que se acrescenta a esta base tem 2000×900×500 mm. O espaço na base da estrutura tem 180 mm de altura, para ter espaço para fixar diversos componentes necessários para os mecanismos dos agentes stressores, para guardar material caso seja necessário, como as garrafas dos animais por exemplo, e ainda para o equipamento ter uma certa margem de manobra para alterações pontuais durante o fabrico ou para implementação de novas funcionalidades futuramente. Os dois patamares superiores têm 420 mm de altura, para as gaiolas terem espaço de manobra suficiente, bem como todo o material que seja necessário inserir. Este valor atribuído à altura de cada andar foi obtido considerando o tamanho da gaiola, a altura da prateleira com a chumaceira, e efeito do *Tilted Cage*.

A base da estrutura é tapada com chapa de aço inoxidável, permitindo fixar vários componentes e guardar material e equipamento relevante durante a aplicação dos paradigmas de stress aplicados aos roedores.

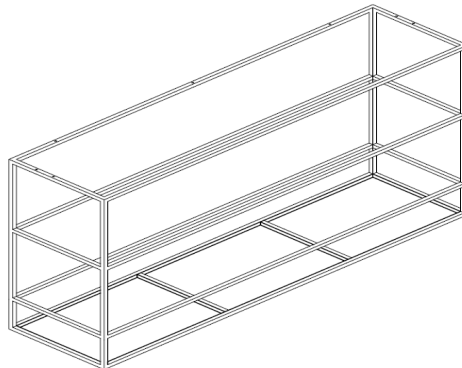


Figura 3.17 - Estrutura soldada inferior feita de tubo quadrado de 20x20 mm de aço inoxidável

Para a estrutura tubular projectada foi efectuada uma simulação no Solidworks Simulation, com o intuito de averiguar a resistência da estrutura. Assim, foram inseridas duas forças na estrutura, uma equivalente ao peso de duas prateleiras, com 6 gaiolas por prateleira, com 2 animais por gaiola, o que representa cerca de 100 kg, ou seja, aproximadamente 1 000 N da vertente normal da força, e a outra, equivalente ao peso de toda a estrutura que se irá acoplar no topo desta estrutura, o que representa aproximadamente 2 500 N. Estes valores não são os valores reais, estando definidos por excesso. Assim, o resultado obtido está representado na Figura

3.18, e dá para verificar que a Tensão máxima detectada na estrutura é cerca de $\frac{1}{4}$ da Tensão de Cedência do material, podendo por isso ser considerada segura.

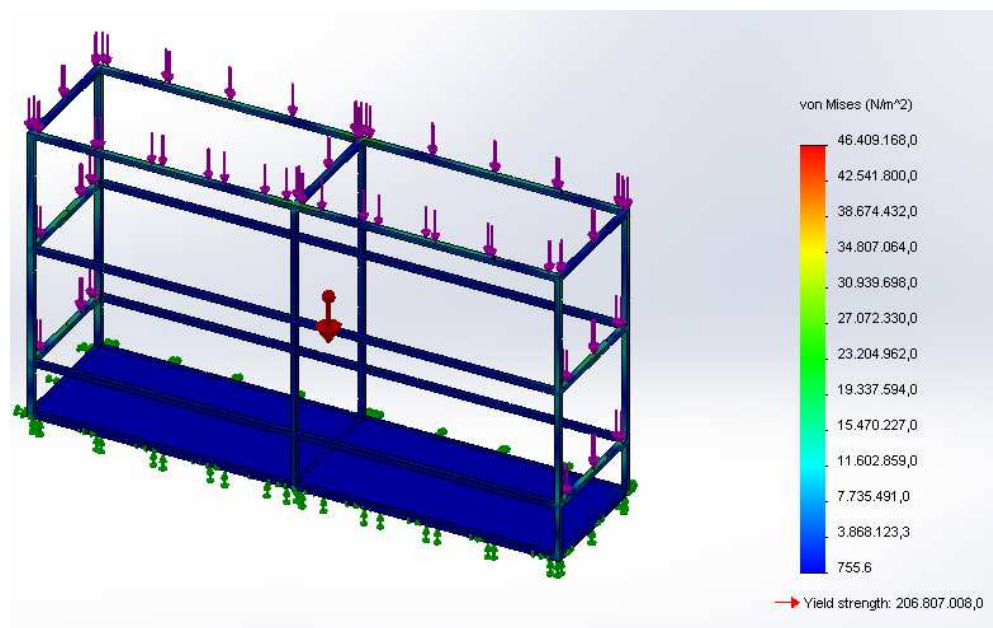


Figura 3.18 - Simulação à estrutura inferior

3.4.1.2 Armação da gaiola

Quando o equipamento estiver em funcionamento, as gaiolas ficam em risco eminente de queda, tanto para o *Tilted Cage* como para o *Shaking*. Desta forma, é necessário criar uma armação para segurar a gaiola na prateleira, e que ao mesmo tempo não impeça nem complique a entrada e saída da gaiola, da prateleira, nem a troca de cama, nem da garrafa e nem de comida, mantendo a simplicidade destes processos de limpeza e de manutenção da higiene, segurança e cuidados básicos dos animais.

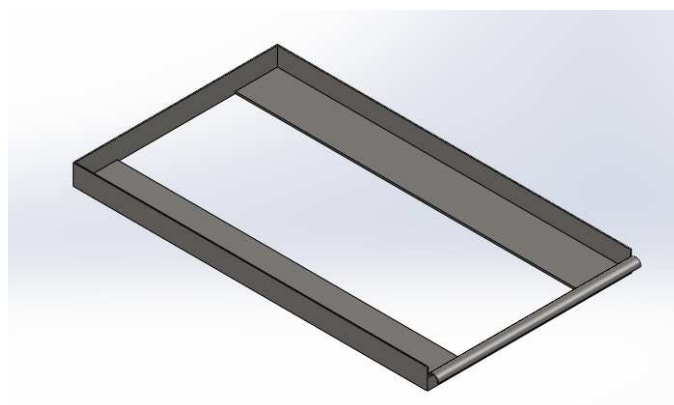


Figura 3.19 - Armação de suporte da gaiola

A solução adoptada para este problema encontra-se representada na Figura 3.19, e rege-se pelas dimensões da base das caixas dos animais, e a aba lateral desta armação tem uma altura de 22 mm, cota que foi considerada aceitável e posteriormente testada e aprovada.

A gaiola entra e sai pelo lado arredondado, para evitar o desgaste do material da própria gaiola. Esta armação é soldada às prateleiras da estrutura, e não tem material no meio para poupar material, continuando funcional para o seu propósito, mas reduzindo significativamente o preço unitário de cada uma destas peças de chapa, o que influencia o custo final visto que o equipamento tem 24 armações destas.

3.4.1.3 Prateleiras

As gaiolas que alojam os animais ficam assentes em prateleiras, que são a base de cada andar, e que por motivos funcionais que serão abordados mais adiante, tem um eixo de rotação central. Esta prateleira tem espaço para 6 gaiolas, e para reduzir os custos não se incluiu uma chapa para cobrir toda a área da base de cada prateleira, ficando apenas o esqueleto da prateleira, pois é uma solução funcional que não compromete em nada os requisitos do projecto. O aspecto geral da prateleira está representado na Figura 3.20.

As principais funções da prateleira passam por suportar as gaiolas e segurá-las correctamente durante a vibração e a inclinação transmitida à prateleira.



Figura 3.20 - Pormenor das prateleiras no equipamento

As prateleiras são feitas de tubo quadrado de aço inoxidável 304, de 20×10 mm, e têm uma base de 1840×350 mm, com 2 tubos extra a reforçarem esta estrutura, conferindo maior robustez. O lado do tubo com 20 mm fica disposto na vertical, perpendicularmente ao chão, para diminuir a flecha e reduzir a eventualidade de fluência da prateleira.

Como já foi referido, as prateleiras têm um eixo de rotação central, e na Figura 3.21 encontra-se uma representação esquemática das peças que permitem ao mecanismo conferir liberdade de rotação á prateleira, bem como liberdade para uma translação horizontal, graças à folga entre os casquilhos de teflon e o veio oco de aço de 20 mm, que assenta numa chumaceira na extremidade da estrutura. A opção pelo teflon deve-se ao seu reduzido coeficiente de atrito. Os tubos são ocos para reduzir o peso do equipamento, e consequentemente, a tensão a que a estrutura fica sujeita, facilitando a sua movimentação e diminuindo as solicitações de diversos componentes e mecanismos.

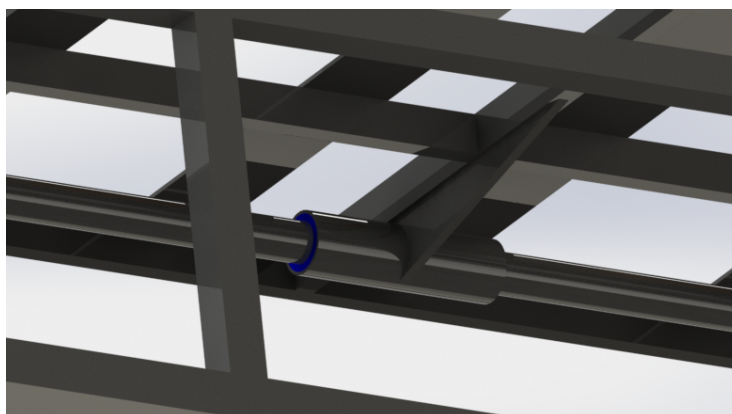


Figura 3.21 - Suporte da prateleira no veio

O aperto mecânico destes componentes tem de ser bem analisado, pois pretende-se que exista uma folga no sistema que permita que a prateleira tenha liberdade de rotação e de movimentação linear oscilatória, como iremos ver adiante. Assim, segundo a norma ISO 286-1, entre o veio redondo que suporta a prateleira e o casquilho de teflon, pretende-se um ajuste rotativo, da classe de ajustamentos H9-d9, e entre o casquilho e a peça que fica soldada à prateleira pretende-se um ajuste bloqueado, da classe de ajustamentos H7-n6.

Este desenho da prateleira e do encaixe é extremamente importante, pois permite que a prateleira deslize sobre o veio, para o *Shaking*, e que rode sobre o mesmo veio, para o *Tilted Cage*.

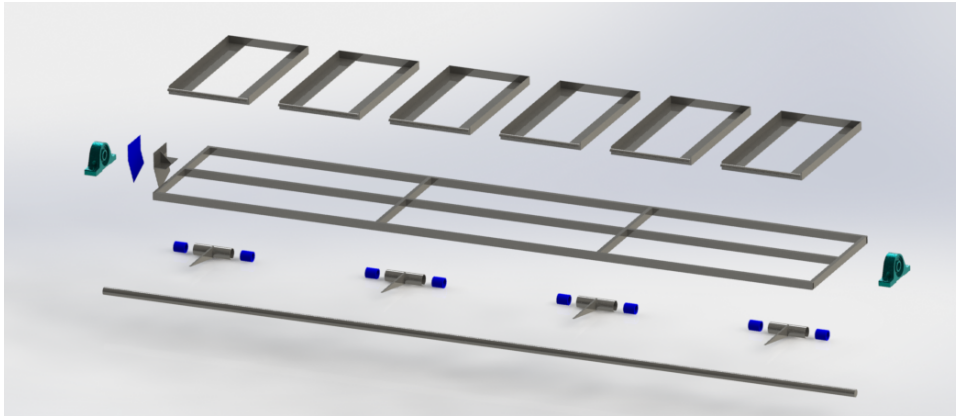


Figura 3.22 - Vista explodida da prateleira

3.4.1.4 Sistema de deslocação do equipamento

Para a movimentação do equipamento entre as várias salas do biotério, serão incorporadas na base do equipamento rodízios, dispostos pela base de forma a distribuir o peso de forma uniforme. Estes rodízios acrescentam 120 mm à altura do equipamento, e aguentam 150 kg cada um, que é um valor mais do que suficiente, e possuem ainda um travão, para a estrutura ficar imóvel durante a execução dos modelos de stress, com especial atenção ao *shaking*.



Figura 3.23 - Estrutura de tubo de 20x20 soldado (adaptado de www.crr.com.br, 2013)

3.4.1.5 Suporte de tubos e cabos eléctricos

O equipamento terá diversos fios eléctricos e tubos ligados às gaiolas e à estrutura devido aos mecanismos eléctricos dos agentes stressores, pelo que é necessário criar uma forma de os guiar pela estrutura, além de suportar o seu peso, em detrimento de ter o peso a ser suportado pela própria gaiola, arriscando dessa forma danificar os encaixes da gaiola, ou até a própria gaiola e

prejudicar dessa forma os modelos de stress. Assim, foi projectado uma estrutura para acoplar na parte traseira do equipamento, que irá suportar o peso dos fios eléctricos e dos tubos, sendo uma boa solução para a perspectiva estética do produto, devido à quantidade considerável de fios eléctricos que iriam ficar visíveis e pendurados na traseira do equipamento.

Se a estrutura do equipamento fosse construída com perfis de alumínio, os cabos eléctricos podiam ser colocados nas próprias calhas do perfil, que permitia percorrer todo o perímetro da estrutura. No entanto, devido ao factor económico, o material seleccionado foram os tubos quadrados de aço inoxidável 304, e para este componente os tubos eram de 10×10 mm, com o formato descrito na Figura 3.24. Este componente também é modular, sendo que cada suporte destes fica acoplado a um dos módulos.

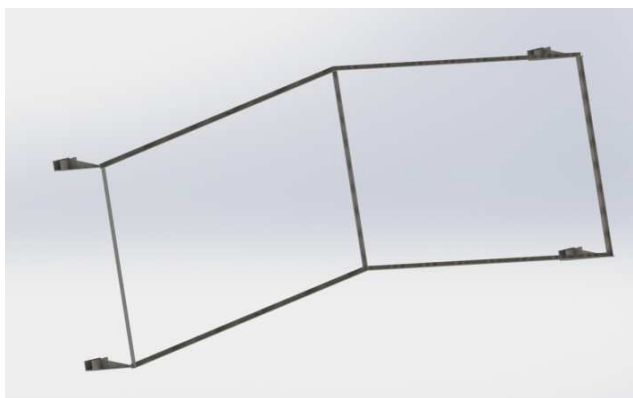


Figura 3.24 – Suporte dos tubos e dos cabos eléctricos

3.4.1.6 Sistema de acesso fácil ao interior das gaiolas

Como definido previamente, é necessário implementar um acesso rápido ao interior das gaiolas, para troca de cama, colocar ou retirar a comida e a água, bem como.

Dessa forma, foi projectada uma solução que implica furar as gaiolas na parte superior, para que seja possível levantar a parte superior da gaiola, permitindo assim um acesso rápido à comida e à bebida dos animais, bem como de qualquer outro componente que porventura seja inserido na gaiola, e ainda retirar a parte de baixo da gaiola sem interferir na parte superior.

Esta solução exigiu especial atenção, pois pretende-se que o processo de qualquer acção dos tratadores e investigadores na gaiola, seja por que motivo for, não interfira com as gaiolas vizinhas,

nem com os cabos que entram na gaiola devido aos mecanismos de stress, e seja compatível com o *shaking* e com o *tilted cage*, que como vamos ver adiante, interferem com a prateleira inteira.

Assim, a solução adoptada foi a que está representada esquematicamente na Figura 3.25, que não interfere com a vibração e inclinação da prateleira e permite a ligação de tubos e fios eléctricos pela parte traseira da gaiola, com a possibilidade de retirar gaiolas individualmente, retirar apenas a parte de baixo da gaiola, ou apenas abrir a tampa da gaiola para aceder ao seu interior, graças à modelação cuidada de todos os componentes do equipamento.



Figura 3.25 - Pormenor do equipamento que permite a limpeza e o acesso à gaiola

Na Figura 3.25 podem-se observar as 3 possibilidades de limpar ou aceder ao interior da gaiola.

Esta solução para a limpeza e troca de cama ou de gaiolas é feita por tubo quadrado de aço inoxidável de 10×10 mm, que é soldado verticalmente na prateleira, com um furo no topo por onde passa um veio maciço de 6 mm, com 2 rasgos onde encaixam 2 anéis de freio para segurar o veio na sua posição, aquando do funcionamento normal do equipamento. Para esta solução também é necessário furar a gaiola.

Concluindo esta parte do projecto, é possível verificar que o equipamento fica com uma configuração geral como a demonstrada na Figura 3.26.



Figura 3.26 – Esquema geral da estrutura do equipamento

Para esta parte do projecto foram considerados diversos factores que podem reduzir o custo do equipamento. Assim, a opção pelo material para construir a estrutura foi realizada dando prioridade ao custo em detrimento, por exemplo, da simplicidade de montagem, do peso total do equipamento, da versatilidade, entre outros. Além disso, para reduzir o custo do equipamento também se optou por retirar chapa e outros materiais de alguns componentes, desde que essa decisão não influenciasse a funcionalidade do produto, tendo novamente em conta que o factor com prioridade era o custo, em detrimento, por exemplo, da estética, como aconteceu nas prateleiras e na armação que serve de suporte às gaiolas.

3.4.2 Refinamento do projecto

Parte essencial deste trabalho incide sobre a automatização dos agentes stressores, e para tal, torna-se necessário incorporar determinados mecanismos no equipamento. Assim, a aplicação dos agentes stressores pode ser dividida em 3 secções diferentes. O primeiro grupo incide sobre os agentes stressores que são incorporados directamente na gaiola, enquanto o segundo grupo é composto pelos agentes stressores que são inseridos na estrutura, e o terceiro grupo é

caracterizado pelos estímulos stressores que são incorporados na sala onde a *rack* fica armazenada.

De seguida agrupam-se os estímulos stressores conforme a incorporação dos seus mecanismos nas diferentes secções:

Tabela 3-3 - Incorporação dos agentes stressores nos paradigmas de stress

	Agente Stressor
Gaiola	Hot Air
	Food Deprivation
	Inaccessible Food
	Restraining
Estrutura	Shaking
	Tilted Cage
	Damp Bedding
Sala	Water Deprivation
	Empty Bottle
	Overcrowding
	Strob Light
	Light Cycle Change
	Noise

A decisão final na selecção do mecanismo a seguir para cada um dos agentes stressores ficou a cargo dos futuros utilizadores.

Apesar da realização da lista de possíveis mecanismos para cada um dos stressores, algumas dessas soluções tiveram de ser eliminadas, por diversos motivos, mais concretamente pela inexistência de um sistema de ar comprimido no Biotério da ECS, e pela falta de controlo de certos parâmetros devido à inexistência de sensores, colocando em risco a segurança e a saúde dos animais, para além do factor financeiro.

3.4.2.1 Shaking

Para promover a vibração das prateleiras, existiam alguns mecanismos accionados por ar comprimido que foram encaradas como boa solução, mas que foram automaticamente eliminadas porque o Biotério não tem uma rede de ar comprimido.

Após algumas deliberações, a solução idealizada consistia num vibração lateral, porque se fosse uma oscilação vertical sobre o eixo da prateleira, os animais iam-se colocar directamente acima desse mesmo eixo, porque seria o local com menor vibração.

Para produzir esta vibração decidiu-se colocar um motor a fazer rodar um veio, no qual estavam colocadas cames para empurar a prateleira que, como foi analisado anteriormente, desliza sobre o seu veio de suporte. A configuração deste esquema está representado na Figura 3.28, e são visíveis os suportes da prateleira, com uma placa de teflon, que auxiliam a prateleira a deslizar reduzindo o atrito.

Neste sistema a prateleira funciona como seguidor, e é utilizada uma mola do lado oposto à cames para fazer o retorno de posição de cada uma das prateleiras, como se pode verificar na Figura 3.27. As prateleiras são actuadas aos pares, em sentidos opostos, para garantir equilíbrio na estrutura.



Figura 3.27 - Pormenor da mola e do apoio da prateleira

Para reduzir o desgaste e o atrito a cames não actua directamente sobre a prateleira, mas sim num batente coberto por teflon, o que reduz o atrito do movimento e protege as componentes metálicas. Neste batente o teflon está aparafusado, porque sendo o material menos duro será aquele que irá sofrer maior desgaste, e desta forma é rápido e simples trocar esta placa, funcionando como um componente de sacrifício. Esta solução de colocar uma placa de teflon como forma de diminuir o desgaste também é tido em conta nos apoios da prateleira, para simplificar a manutenção e reduzir o atrito no movimento da prateleira, como se pode verificar na Figura 3.27.

A configuração do batente considera ainda outro pormenor, devido ao *Tilted Cage*, e o formato alongado e angular do batente serve para evitar que quando as prateleiras estiverem inclinadas a cames não fique debaixo da prateleira, o que iria ser um problema grave quando a prateleira baixasse, como se pode observar na Figura 3.29.



Figura 3.28 - Mecanismo do *shaking*

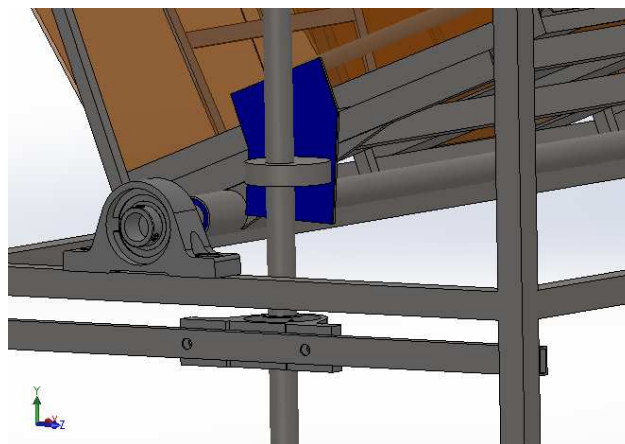


Figura 3.29 - Pormenor do Shaking, com o batente a proteger a cames

Para o shaking, foi definido pelos futuros utilizadores que a frequência pretendida é de 1 oscilação/segundo, e a amplitude do movimento de 20 mm. Estes requisitos foram o guia da modelação deste mecanismo, e da selecção do motor e da redutora.

A cames será uma circunferência, com um furo descentrado, de forma a reduzir o custo e a simplificar o fabrico.

3.4.2.2 Tilted Cage

Para a inclinação da caixa, projectou-se um sistema elevatório, em que um motor faz rodar um veio roscado, que desloca uma porca que está ligada às prateleiras. As prateleiras estão ligadas entre si, por isso todo o sistema se move em simultâneo, como se verifica na Figura 3.30.



Figura 3.30 - Representação esquemática do sistema de elevação do Tilted Cage

O sistema porca-parafuso permite transformar o movimento rotativo num movimento linear, e aumenta ainda a relação de transmissão de todo o mecanismo.

Esta inclinação é obtida devido à elevação da borda da prateleira, sobre o eixo de rotação da própria prateleira. Com os cálculos e simulações em CAD e CAE foi possível obter as dimensões exactas para obter os 35° sugeridos pelos investigadores do ICVS.

3.4.2.3 Damp Bedding

Relativamente ao *Damp Bedding*, foi projectado um sistema que contempla um reservatório que se encontra no topo da estrutura, do qual saem tubos que são ligados directamente às

gaiolas. Os tubos são de borracha e têm um diâmetro de 6 mm. Como a altura é pouco significativa e o diâmetro dos tubos reduzido, a velocidade de escoamento é aproximadamente a mesma para todas as gaiolas, pois a gravidade e a viscosidade da água condicionam a velocidade da água.

Uma electro-válvula abre e fecha a água da mangueira que alimenta o reservatório. A electro-válvula deixa entrar água no sistema até despejar 0.75 litros de água em cada gaiola. Com este sistema, pretende-se que de uma só vez todas as gaiolas fiquem com o mesmo volume de água, apesar de poderem haver diferenças até 0.1 litros entre as diversas gaiolas. Neste sistema também é necessário incorporar um caudalímetro para cortar a água depois de terem sido despejados 18 litros (24×0.75 litros) nas gaiolas.



Figura 3.31 - Componentes da electro-válvula

Para garantir que a água chegava em igual quantidade aos furos aonde se encontram ligados os tubos que alimentam as gaiolas, foi projectada uma tampa inclinada, com o jacto de água proveniente da entrada a bater directamente nessa mesma tampa, de forma fazer a água escorrer de forma uniforme pelas paredes, como se pretende demonstrar na Figura 3.32.

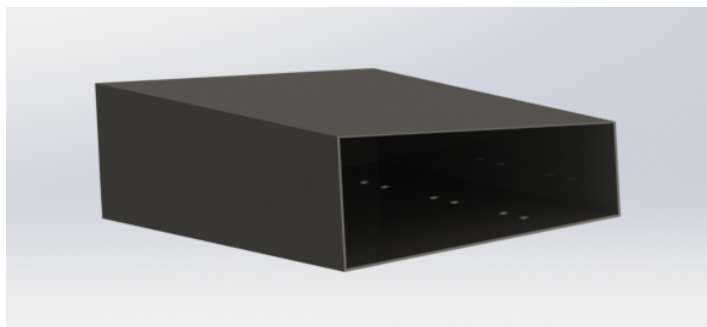


Figura 3.32 - Reservatório de água

3.4.2.4 Hot Air

Este estímulo agressivo foi condicionado, tendo sido eliminado o factor da temperatura do cenário, porque como não havia controlo da temperatura os animais corriam risco de morte, devido à sua sensibilidade.

Foi realizado um pequeno teste, de forma bastante rudimentar e sem grandes preocupações de controlo, furando a tampa de uma caixa e colocando lá o bocal de um secador de cabelo normal, ligando-o de seguida. Colocando um termómetro no interior da gaiola, reparou-se que um simples secador ultrapassou os 45 °C em cerca de 12 minutos, o que, segundo alguns investigadores do ICVS, habituados a este tipo de ensaios, indicava que o animal morria antes de completar este estímulo, que tem a duração de uma hora.

Este problema relacionado com o calor poderia ser eliminado com um sistema de controlo básico, caso existisse um sensor de temperatura, como por exemplo um termopar, ligado a um controlador, que desligasse a fonte de calor quando a temperatura atingisse, por exemplo, 40 °C, e que a voltasse a ligar quando a temperatura atingisse, por exemplo, os 30 °C, com estes limites de temperatura a serem definidos pelos utilizadores.

Independentemente da eliminação da fonte de calor do mecanismo, este agente stressor cumpre o requisito de stressar o animal, desde que possua um jacto de ar suficientemente forte para o incomodar.

No Solidworks Flow Simulation foi também efectuado um estudo acerca deste agente stressor, e os resultados foram positivos, pois indicava que o ventilador na posição idealizada criava um efeito turbilhão que se alastrava a toda a gaiola, não existindo posições na gaiola onde o rato se pudesse resguardar. A disposição utilizada na simulação, representada na Figura 3.33, foi de seguida testada na realidade no biotério.

Como se pode verificar pela Figura 3.34, os testes efectuados no ICVS demonstraram que o animal fica muito agitado, e se tenta esconder e/ou fugir quando o jacto é suficientemente forte, e bem direccionado para a cama, o que indica que o agente stressor cumpre o objectivo a que se propunha. Para além da corrente de ar que o ventilador provoca na gaiola, o animal também é constantemente atingido por pedaços de cama que são projectados pelo ar, e para culminar, o ventilador é muito ruidoso, o que acaba por irritar e assustar ainda mais o rato.

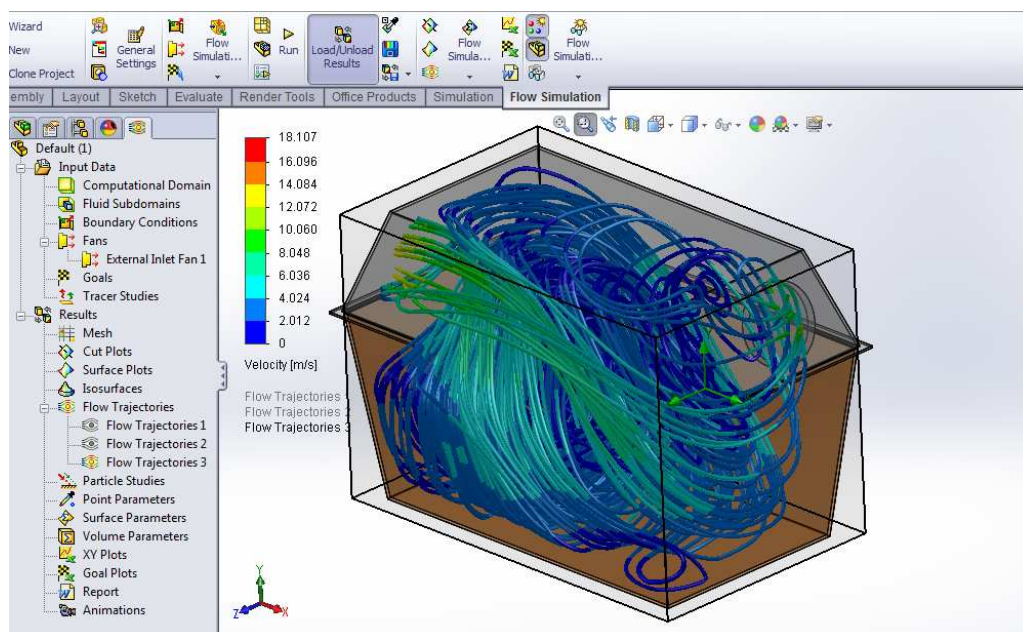


Figura 3.33 - Simulação computacional do ventilador externo



Figura 3.34 - Roedor escondido num canto durante um teste do Hot Air

Assim, após diversos testes relacionados com o jacto de ar, foi determinado que a melhor solução seria colocar um ventilador, como o da Figura 3.35, a soprar de fora para dentro da gaiola.

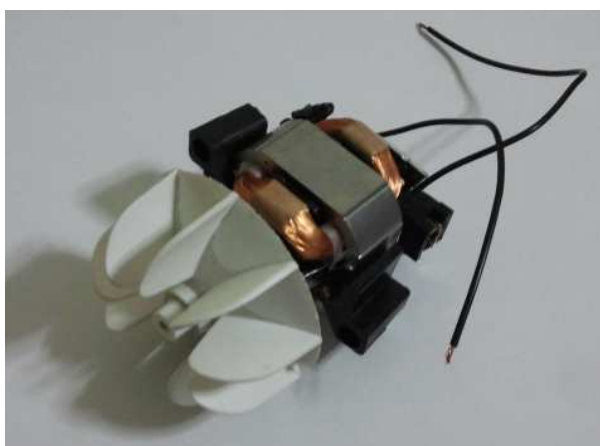


Figura 3.35 - Ventilador do *Hot Air*

Este ventilador é accionado por um motor da *Hong Da Electronics Company*, com as especificações referidas na Tabela 3-4, capaz de atingir as 23 000 rotações por minuto.

Tabela 3-4 - especificações técnicas do motor do ventilador

Modelo	Class.		Sem carga		Com carga				
	Tensão	Freq	Int.	Vel.	Binário	Int.	Pot. (in)	Vel.	Pot. (Out)
HC-5425-13	[AC V]	[Hz]	[A]	[RPM]	N.mx10 ⁻²	[A]	[W]	[RPM]	[W]
	110	50/60	0.65	23000	7	1.75	180	13000	70

Apesar de tudo, a parte do ar quente pode ser remediada aquecendo a sala toda com um ar condicionado ou com um aquecedor normal, garantindo uma boa estabilidade de temperatura. Em algumas universidade também se aplica o ar frio, e caso seja necessário efectuar um teste similar com ar frio, como não existe no biotério uma arca frigorífica capaz de alojar a *rack*, a melhor solução seria o ar condicionado inserido na sala onde o equipamento ficará normalmente alocado.

3.4.2.5 Food Deprivation/Inaccessible Food

No tópico associado à comida, foi decidido que estes dois agentes stressores podiam ser aplicados com o mesmo mecanismo, o que simplifica o processo.

Para este agente stressor, foi acolhida uma das ideias presentes nos produtos existentes no mercado, mais concretamente o produto apresentado na figura 2.13, da *TSE Systems*.

Assim, foi projectado um componente cilíndrico, tal como aquele apresentado na Figura 3.36, que se pode abrir para colocar ou retirar a comida. Este cilindro tem 180° da sua área lateral com uma grelha, e os outros 180° têm uma parede normal. O cilindro tem 2 Pernos no seu eixo geométrico que permite rodar o cilindro dentro da própria gaiola.

Para efectuar o *Food Deprivation* retira-se a comida do cilindro e volta-se a colocar o cilindro na gaiola, e para executar o *Inaccessible Food* coloca-se a comida no cilindro, mas roda-se o cilindro, ficando o lado fechado do cilindro virado para os ratos. Desta forma, os animais conseguem cheirar a comida, mas não têm acesso à mesma.

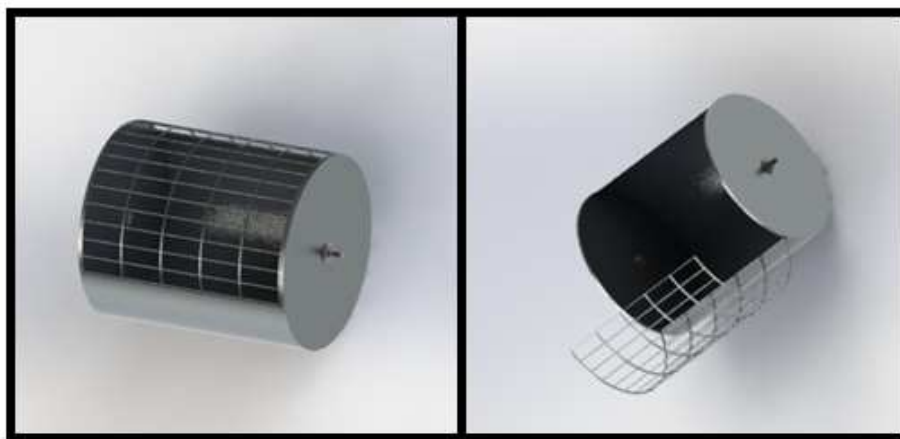


Figura 3.36 - Cilindro do *Food Deprivation*

3.4.2.6 Restraining

Para executar este agente stressor é pretendido confinar os ratos a um pequeno espaço, delimitando os seus movimentos.

Devido à complexidade mecânica de inserir uma parede móvel na gaiola, a opção passa por utilizar uma pá, que se insere manualmente no interior da gaiola, confinando os animais à parte traseira da gaiola, como se pretende demonstrar na Figura 3.37.



Figura 3.37 - Pá do Restraining inserida na gaiola

Os animais mais novos são menos gordos que os mais velhos, e enquanto os mais novos devem ficar num espaço de 50 mm entre paredes, os mais velhos necessitam de 70 mm, e por isso esta pá tem a possibilidade de colocar uma tampa de 20 mm na ponta da pega, criando a possibilidade de confinar os animais a 50 ou a 70 mm, conforme o tamanho dos ratos a stressar.

A parede da pá tem furos para os animais poderem respirar, caso optem por aplicar este stressor noutro tipo de caixa que não tivesse a grelha por cima para permitir aos animais respirar. Além disso, a furação pode ser usada para deixar sair parte das partículas da cama, porque quando se coloca a pá, arrasta-se alguma cama e esta teria tendência para se acumular no local onde os ratos deveriam ficar.

3.4.2.7 Noise, Light Cycle Change, Strob Light

Como referido anteriormente, alguns dos agentes stressores ficam inseridos na própria sala onde o equipamento fica alocado, não tendo influência no projecto mecânico a desenvolver.

Assim, para o *Noise*, *Light Cycle Change*, e *Strob Light* ficou definido que os equipamentos responsáveis por estes estímulos não fariam parte do equipamento, mas sim da sala onde a estrutura ficaria alojada, pois permitia que fosse possível levar outras *racks* para a sala, isto é, outros animais alheios ao equipamento e porventura sujeitos a outros protocolos de stress mas com os mesmos agentes stressores, ficando assim garantindo o controlo da aplicação destes agentes stressores quando requisitado, reduzindo a interacção humana à parte de ter de deslocar as gaiolas ou as *racks* para a sala equipada para esse mesmo efeito. Esta era uma solução mais simples, e que não iria tornar a estrutura demasiado complexa, garantindo ainda meios para stressar outros animais com maior fiabilidade e uma repetibilidade aceitável ao longo do tempo, acabando por ser uma solução mais útil para os investigadores do ICVS.

A sala onde o equipamento será normalmente colocado não tem iluminação natural, e ficará equipada com as luzes estroboscópicas, colunas de som, e lâmpadas normais, com controlo computacional para permitir fazer a alteração do ciclo de luz diária conforme o programador decidir, bem como accionar o ruído, e decidir qual o tipo de ruído, e accionar as luzes estroboscópicas, bem como a duração de cada um destes agentes stressores.

3.4.2.8 Water Deprivation, Empty Bottle

Devido à complexidade e ao possível custo das soluções apresentadas para estes mecanismos de stress, foi decidido que estes procedimentos iriam continuar a ser realizados da mesma forma que anteriormente, ou seja, individualmente.

A única interacção entre este agente stressor e o projecto em desenvolvimento encontra-se associado aos veios da limpeza da gaiola, que permitem levantar a tampa da gaiola para aceder às garrafas dos animais sem grandes demoras e complexidade, pois a gaiola permanece exactamente no mesmo sítio durante este procedimento.

3.4.3 Projecto de detalhe

De forma a aprofundar o projecto, foram efectuados alguns cálculos e dimensionamentos, para uma correcta selecção de componentes para o equipamento.

Neste tópico, foram abordados os motores utilizados para a vibração e para a inclinação, bem como as molas utilizadas para o shaking.

3.4.3.1 Motor do mecanismo do shaking

Para seleccionar o motor que irá accionar este mecanismo é necessário saber qual o binário que o motor tem de dispor. Assim, o motor tem de mover 4 prateleiras com as suas gaiolas. A massa das prateleiras e das gaiolas, com todos os equipamentos montados, com os animais nas gaiolas, com comida e água é:

$$4 \text{ Prateleiras:} \quad 14 \times 4 = 56 \text{ kg}$$

$$24 \text{ Gaiolas:} \quad 5.5 \times 24 = 132 \text{ kg}$$

$$\text{Peso Total:} \quad 56 + 132 = 188 \text{ kg}$$

Força normal (F_N)

Massa (m): 188 kg

Aceleração da gravidade (g): 9.8 m.s^{-2}

$$F_N = m \times g \leftrightarrow F_N = 188 \times 9.8 = 1842.4 \text{ N}$$

Força de atrito total (F_{AT})

μ_c Teflon/Aço (fonte: www.cndrevestimentos.com.br)

$$F_{AT} = F_N \times \mu_c \leftrightarrow F_{AT} = 1842.4 \times 0.1 \leftrightarrow F_{AT} = 184.2 \text{ N}$$

Força de atrito por par de prateleiras ($F_{A/par}$)

Como as prateleiras são actuadas aos pares, alternadamente, para empurrar livremente um par de prateleiras é necessário vencer força de atrito. Cada prateleira fica assente em 4 apoios revestidos a teflon e nos 8 casquilhos de teflon do veio.

$$F_{A/par} = \frac{F_{AT}}{n.^\circ \text{ de pares de prateleiras}} \leftrightarrow F_{A/par} = \frac{184.2}{2} \leftrightarrow F_{A/par} = 92.1 \text{ N}$$

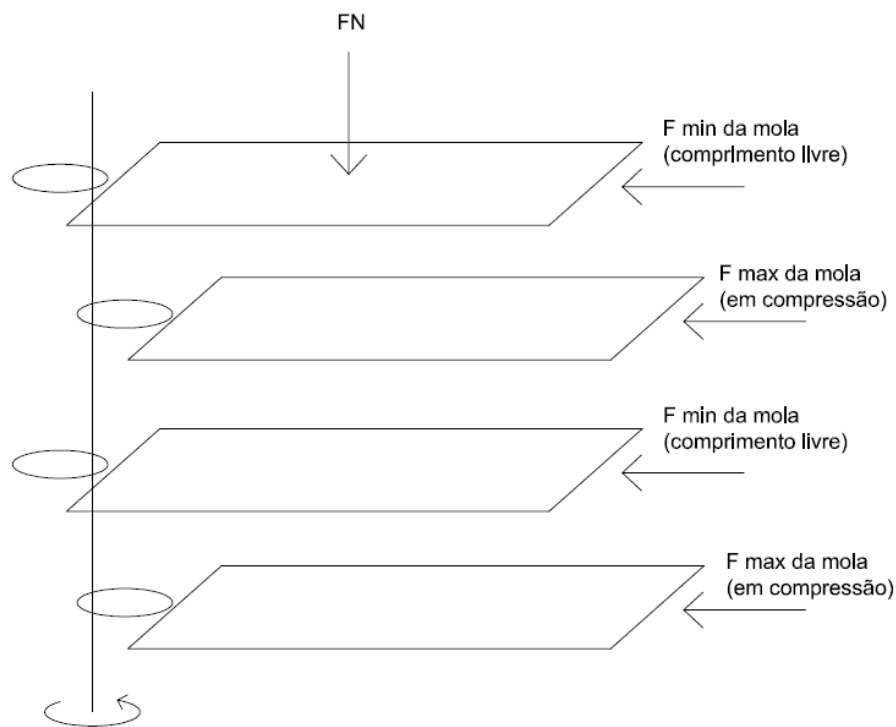


Figura 3.38 - Diagrama de corpo livre representativo do shaking

Força da mola (F_{mola})

Para as molas que efectuem o retorno de posição funcionarem devidamente, é necessário que estas exerçam uma força transversal que consiga vencer a força de atrito que cada prateleira cria

$$F_{mola} > \frac{F_{AT}}{n.^\circ \text{ de andares}} \leftrightarrow F_{mola} > \frac{184.2}{4} \leftrightarrow F_{mola} > 46.1 \text{ N}$$

É necessário atribuir um coeficiente de segurança, por causa de possíveis empenos, entre outros eventuais problemas

$$F_{mola} = 46.1 \times coef_{seg} \leftrightarrow F_{mola} = 46.1 \times 1.3 \leftrightarrow F_{mola} = 59.9 \text{ N}$$

Binário do motor (B_{motor})

Braço (b): maior distância do eixo do veio motor até ao contacto da cames com o seguidor:
0.04 m

$$B_{motor} = F_{Total} \times b$$

A força total (F_{Total}) é a soma da força de atrito de cada par de prateleiras, que o motor necessita vencer, e das duas molas, que exercem uma força no sentido contrário.

$$F_{Total} = F_{A/par} + 2 \times F_{mola} \leftrightarrow F_{Total} = 92.1 + 2 \times 59.9 \leftrightarrow F_{Total} = 211.9 \text{ N}$$

$$B_{motor} = F_{Total} \times b \leftrightarrow B_{motor} = 211.9 \times 0.04 \leftrightarrow B_{motor} = 8.5 \text{ Nm}$$

$$B_{motor} = 8.5 \times coef_{seg} \leftrightarrow B_{motor} = 8.5 \times 1.3 \leftrightarrow B_{motor} = 11.1 \text{ Nm}$$

Deste modo, a selecção do motor e da caixa redutora foi baseada na velocidade final pretendida, 1 rpm, no tamanho disponível para o montar no equipamento, e no binário.

Foi definido que os motores seriam da Maxon Motors, bem como os componentes auxiliares, e acabaram por ser seleccionados os seguintes componentes:

Motor

EC motor Ø 45 mm, sem escovas, 150 W, com todos os sensores. Ref. Maxon: 136198

Redutora

Planetary Gearhead GP 42 C Ø42 mm, 3-15 NM, Versão Cerâmica. Ref. Maxn: 203124

Motor Data			136198
Values at nominal voltage			
1 Nominal voltage	V	24	
2 No load speed	rpm	6090	
3 No load current	mA	328	
4 Nominal speed	rpm	4840	
5 Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	183	
6 Nominal current (max. continuous current)	A	5.13	
7 Stall torque	mNm	952	
8 Starting current	A	25.6	
9 Max. efficiency	%	79	
Characteristics			
10 Terminal resistance phase to phase	Ω	0.936	
11 Terminal inductance phase to phase	mH	0.275	
12 Torque constant	mNm/A	37.1	
13 Speed constant	rpm/V	257	
14 Speed/torque gradient	rpm/mNm	6.49	
15 Mechanical time constant	ms	8.08	
16 Rotor inertia	gcm ²	119	

Figura 3.39 - Especificações técnicas do motor (adaptado de www.maxonmotor.com, 2013)

Gearhead Data			203124
1 Reduction		81 : 1	
2 Reduction absolute		2197/27	
10 Mass inertia	gcm ²	9.4	
3 Max. motor shaft diameter	mm	8	
4 Number of stages		3	
5 Max. continuous torque	Nm	15.0	
6 Intermittently permissible torque at gear output	Nm	22.5	
7 Max. efficiency	%	72	
8 Weight	g	460	
9 Average backlash no load	°	1.0	
11 Gearhead length L1			

Figura 3.40 - Especificações técnicas da redutora (adaptado de www.maxonmotor.com, 2013)

Ligando estes dois componentes, obtemos as seguintes características:

$$\frac{V_{nominal}}{Rel_{transmissão}} = \frac{4840}{81} = 59.7 \text{ RPM}$$

$$B_{nominal} \times Rel_{transmissão} = 0.183 \times 81 = 14.5 \text{ Nm}$$



Figura 3.41 - Motor + Redutora da Maxon Motor para o mecanismo de vibração

As especificações técnicas destes componentes encontram-se no Anexo C

Molas de Compressão para o retorno do seguidor

As características da mola a saber são:

- Material de construção: Arame temperado em óleo;
- Módulo de elasticidade do aço (ϵ): 207 GPa;
- Módulo de elasticidade transversal (G): 80 GPa;
- Diâmetro exterior (D): 28 mm;
- Diâmetro de arame (d): 3 mm;
- Comprimento livre (L): 90 mm;
- Carga aplicada (F): 60 N;
- Deformação (γ): 25 mm;
- Número de espiras activas (N_a): 5.

Com os dados fornecidos, torna-se possível o cálculo do índice de mola, C :

$$C = \frac{D}{d} = \frac{28}{3} = 9.33$$

O índice de mola permite o cálculo do Factor de Wahl, K_w , dado pela fórmula:

$$K_w = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0.615}{C} = \frac{4 \times 9.33 - 1}{4 \times 9.33 - 4} + \frac{0.615}{9.33} = 1.16$$

A fórmula da tensão máxima aplicada permite a verificação do dimensionamento de molas:

$$\tau_{max} = K \frac{8 F D}{\pi d^3}$$

A aplicação dos dados fornecidos, resulta numa tensão máxima na mola de:

$$\tau_{max} = 1.16 \times \frac{8 \times 60 \times 0.028}{\pi \times 0.003^3} \Leftrightarrow \tau_{max} = 183 \text{ MPa}$$

Por sua vez, a constante de mola pode ser determinada por

$$K = \frac{1}{K_w} \frac{d^4 G}{8 D^3 N_a} = \frac{F}{\gamma} = \frac{60}{0.025} = 2400 \text{ N/m}$$

3.4.3.2 Tilted cage

Como se pode observar na Figura 3.42, o eixo de rotação da prateleira não se encontra centrado com a prateleira, encontrando-se a 265 mm de distância da extremidade mais distante.

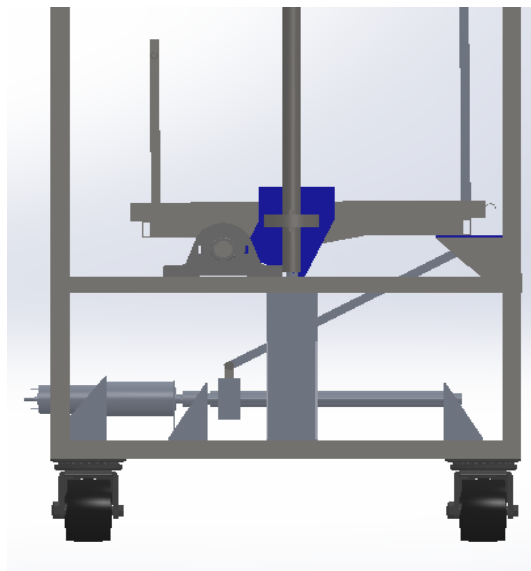


Figura 3.42 - Esquema do mecanismo porca parafuso

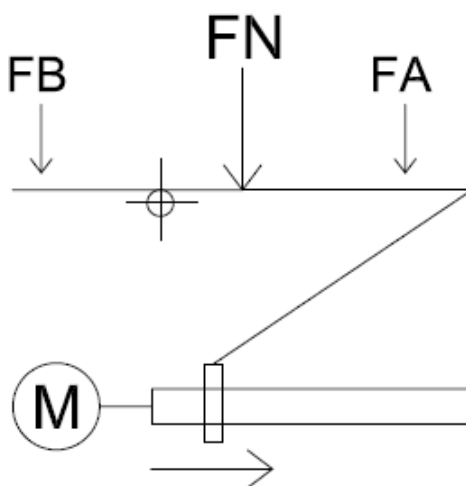


Figura 3.43 - Diagrama de corpo livre do mecanismo de inclinação

Pelo diagrama de corpo livre é possível observar que a componente normal da força pode ser dividida através do eixo de rotação em duas partes, em que FA é oposta ao movimento do mecanismo porca-parafuso, e FB, que é favorável ao movimento do fuso. Se considerarmos que a

força normal é aplicada de forma uniforme por toda a área da superfície da prateleira, podemos verificar pela geometria e pela distribuição que $FB=1/4$ de FN e $FA = 3/4$ de FN .

Considerando a mesma componente da força normal que foi aplicada para o shaking se multiplica por $3/4$, e segundo Miranda, 2008:

$$P_R = \frac{F(\sin\gamma + f\cos\gamma)}{\cos\gamma - f\sin\gamma}$$

Em que:

P_R : Força tangencial aplicada para a subida [N]

F : Força normal (FB) = $1880 \times 3/4 = 1410N$

γ : ângulo de inclinação do filete = 60°

f : coeficiente de atrito aço/aço = 0.12 (fonte: www.webcalc.com.br)

$$P_R = \frac{F(\sin\gamma + f\cos\gamma)}{\cos\gamma - f\sin\gamma} \leftrightarrow P_R = \frac{1410 \times (\sin 60 + 0.12 \times \cos 60)}{\cos 60 - 0.12 \times \sin 60} = 645 \text{ N}$$

De seguida, para calcular o binário de aperto (T_R), isto é, o binário de subida, temos:

$$T_R = \frac{P_R d_m}{2} \left[\frac{t + \pi f d_m}{\pi d_m - f t} \right]$$

Em que:

d_m : diâmetro médio do parafuso – 0.02 m

t : altura – 0.1 m

$$T_R = \frac{P_R d_m}{2} \left[\frac{t + \pi f d_m}{\pi d_m - f t} \right] \leftrightarrow T_R = \frac{645 \times 0.02}{2} \left[\frac{0.1 + \pi \times 0.12 \times 0.02}{\pi \times 0.02 - 0.12 \times 0.1} \right] = 13.6 \text{ Nm}$$

O motor e a redutora seleccionados para este mecanismo são os mesmos que os utilizados para o *shaking*, devido à semelhança de características.

Motor

EC motor Ø 45 mm, sem escovas, 150 W, com todos os sensores. Ref. Maxon: 136198

Redutora

Planetary Gearhead GP 42 C Ø42 mm, 3-15 NM, Versão Cerâmica. Ref. Maxon: 203124

No entanto, como também foi inserido um travão, devido à necessidade de garantir que as prateleiras ficam inclinadas e não caem caso surja algum imprevisto ou uma falha mecânica do material. O travão é outro componente fornecido pela Maxon Motor:

Travão

Brake AB 28, 24 VDC, 0.4 Nm. Ref. Maxon: 228390



Figura 3.44 - Motor + Redutora + Travão da Maxon Motor para o mecanismo da inclinação

As especificações técnicas destes componentes encontram-se no Anexo C.

3.4.4 Projecto para a configuração

Com os parâmetros principais determinados pelo processo de optimização inicia-se a etapa da determinação da configuração geral, o layout dos componentes, as formas preliminares dos componentes, bem como de todas as possíveis interferências, o que é obtido de forma gradual pela consideração de diversos atributos e por princípios básicos como:

- Adopção de soluções simples, fáceis de entender e construir;

Na selecção das melhores soluções dos agentes indutores de stress este parâmetro foi tido em conta, riscando da lista de hipóteses as soluções mais complexas, como a utilização de um sistema de roldanas accionado por um motor para produzir o *Tilted Cage*, e no sentido inverso, adoptando a utilização de uma cames redonda para o *Shaking*, com um eixo de rotação descentralizado, de forma a simplificar o seu fabrico e reduzir o custo.

- Adopção de formas de componentes e arranjos que não causem solicitações muito elevadas;

O próprio desenho da estrutura e das prateleiras são um reflexo disto, não existindo reduções de secção nem perfis propícios às concentrações de tensões.

- Prever que as forças actuates se equilibrem internamente na estrutura e que os componentes sejam simétricos ou dispostos simetricamente;

Através da análise do desenho do equipamento, pode-se analisar que todos os componentes, excluindo os da base, estão dispostos de forma simétrica, ou o mais próximo possível da simetria. Além disso, a actuação das cames, é feita alternadamente, de andar para andar, para evitar que todas as prateleiras se movimentem em sintonia, de forma a minimizar a oscilação e a vibração da estrutura.

3.5 CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO

A construção do equipamento sofreu diversos atrasos e contratempos, devido às constantes alterações do projecto do equipamento e também devido à falta de fundos numa fase inicial.

Desta forma, o objectivo inicial desta dissertação incidia em materializar o projecto conceptual, efectuando os desenhos técnicos do equipamento para construir a parte mecânica, e adquirindo os motores, ventiladores e bomba de água, chumaceiras, correias, e polias. No entanto, o orçamento disponível não se aproximava dos valores necessários para tal efeito, sendo considerados, no mínimo, insuficientes. Apesar de tudo, a impossibilidade de construir efectivamente este projecto não se apresentou como um factor negativo, pois como se provou mais tarde, o projecto apresentava diversas falhas e defeitos no projecto.

Assim, ainda numa fase inicial e embrionária, altura em que não havia fundos para desenvolver o projecto como era desejado, o objectivo era conseguir fazer uma estrutura de 2 andares e 4 colunas, ou seja, para 8 gaiolas, nas oficinas do DEM, e concretizar, dentro do possível, os componentes responsáveis por determinados agentes stressores. Para realizar esse protótipo tornou-se necessário procurar determinados componentes nas sucatas e em lojas de reparação de electrodomésticos para encontrar os actuadores de determinados agentes stressores, mais concretamente, esta procura incidia sobre motores de betoneiras, máquinas de costura, máquinas de lavar roupa, microondas, secadores de cabelo, motores de passo de impressoras, resistências de secadores de cabelo e de máquinas de café que, apesar de obsoletos, ainda funcionassem, para seleccionar a melhor opção conforme os agentes stressores, e posteriormente ir testando para depois investir num equipamento com as mesmas especificações e capacidades. Dessa forma, foi possível encontrar alguns dos componentes mecânicos que se procuravam, funcionais e em bom estado, para ir testando algumas soluções, nomeadamente o *Hot Air*, *Shaking*, *Damp Bedding* e *Food Deprivation*, e simultaneamente foi-se desenvolvendo o desenho e projecto do equipamento criando um modelo 3D do mesmo. Contudo, os desenhos tiveram de ser alterados várias vezes, pois os requisitos foram sendo alterados sucessivamente, como se pretende representar na Figura 3.45, o que foi atrasando todo o processo, até se decidir fazer a estrutura em módulos de 2 andares e 6 colunas, que se podiam adicionar à base, que já incluía os rodízios, os motores e os 2 primeiros andares. Com esta solução torna-se possível jogar o equipamento com a altura das salas e das portas, e acima de tudo, simplifica o fabrico, a montagem, a manutenção e a deslocação da estrutura.

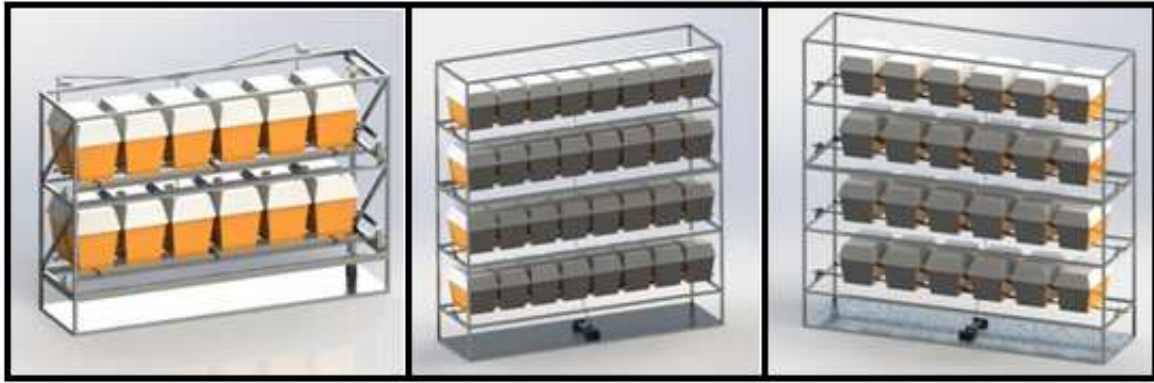


Figura 3.45 - Alterações efectuadas à configuração da rack

Este projecto continuou, no entanto, com financiamento bastante reduzido, bem como uma disponibilidade de componentes pouco significativa, o que ia eliminando continuamente alguns dos mecanismos propostos para os agentes stressores por motivos financeiros, que podiam simplificar e enriquecer os procedimentos, bem como alternativas que iam enriquecer o equipamento, como por exemplo, toda a estrutura ser construída com perfil de alumínio, como o apresentado na Figura 3.16, o que acarretava diversas vantagens, pois permitia regular a altura das prateleiras, montar e desmontar facilmente toda a estrutura, permitindo uma manutenção mais simples e acessível, redução significativa do peso total do equipamento, o próprio perfil do tubo permitia implementar prateleiras facilmente, permitia implementar prateleiras deslizantes verticais e/ou horizontais, (possível solução adaptada para o *shaking* e para o *light cycle change*), implementação directa de rodízios e chumaceiras, calhas próprias para guardar e esconder tubos e cabos eléctricos, entre outras vantagens, acabando por levar a decisão a tender para tubo de aço inoxidável de 20x20 mm.

Posteriormente, devido ao interesse despoletado pelo conceito deste equipamento, o ICVS conseguiu arranjar financiamento através da TecMinho, o que levou a outras alterações e à decisão de construir efectivamente o equipamento, e adquirir todos os componentes mecânicos e eléctricos necessários, ficando os componentes electrónicos de controlo a cargo das futuras equipas que participem neste trabalho.

Assim, passou-se à construção do equipamento, começando pela estrutura e pelas prateleiras, que ficaram a cargo do Sr. Vitor Neto.



Figura 3.46 - Parte inferior da estrutura

Deste modo, a construção do equipamento foi avançando, e diversos componentes adquiridos. Na Figura 3.48 encontra-se o desenho técnico das armações que seguram as gaiolas, que seguiram fazer por corte a laser, e posterior quinagem e calandragem, cujo produto final se encontra na Figura 3.47.



Figura 3.47 - Armação de suporte da gaiola

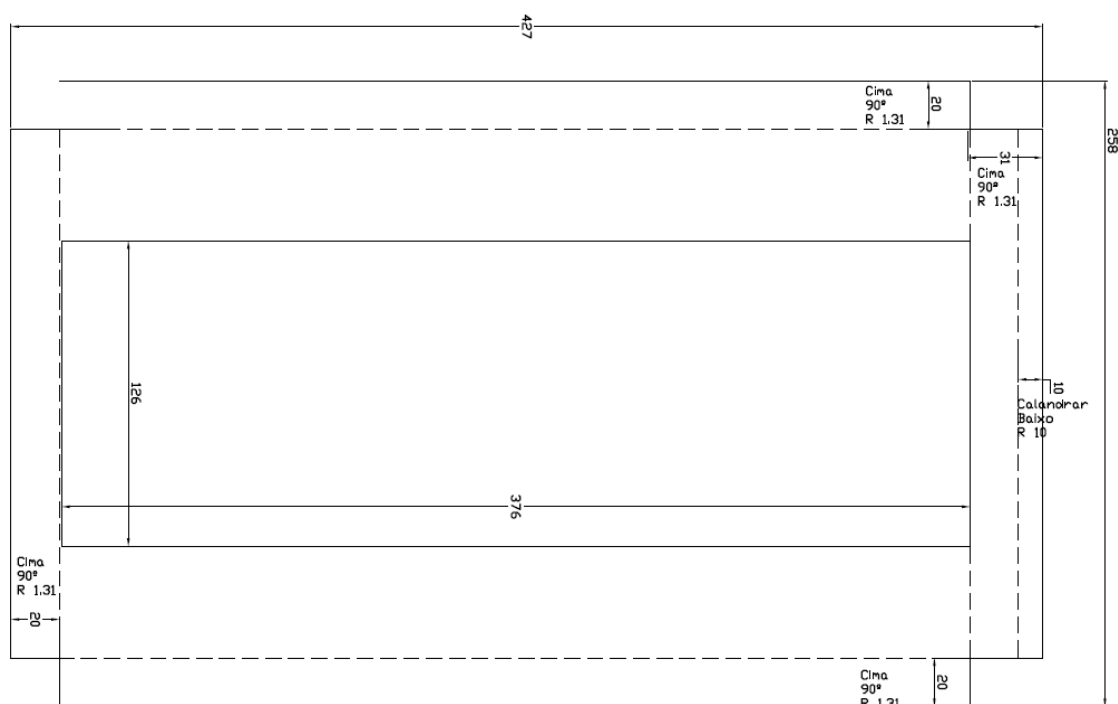


Figura 3.48 - Desenho técnico da chapa de 1 mm para a armação de suporte da gaiola

Tudo que fosse trabalho relacionado com a serralharia foi atribuído ao Sr. Vitor Neto, incluindo chumaceiras, parafusos, rodízios, entre outros componentes, para além de todo o trabalho de construção do equipamento.



Figura 3.49 - Pormenores de fabrico



Figura 3.50 - Peças construídas para o equipamento



Figura 3.51 - Pormenor da estrutura



Figura 3.52 - Prateleira com uma gaiola encaixada

A construção do protótipo foi assim efectuada pelo técnico das oficinas do DEM, não nas oficinas do DEM, mas sim numa oficina exterior.

Em relação ao modelo 3D e aos desenhos técnicos, foram efectuadas diversas alterações devido à falta de sensibilidade e experiência do autor na transição para a realidade dos componentes. Assim, na materialização de diversos componentes foram realizadas algumas alterações pontuais, mais concretamente na alteração da espessura de algumas chapas, nas zonas de soldadura, na aplicação de reforços estruturais e nervuras em zonas mais sensíveis, arredondamento de quinas e ângulos vivos e fixação de componentes.

No Anexo B segue a lista total de componentes agrupadas por agentes stressores e o seu estado actual.

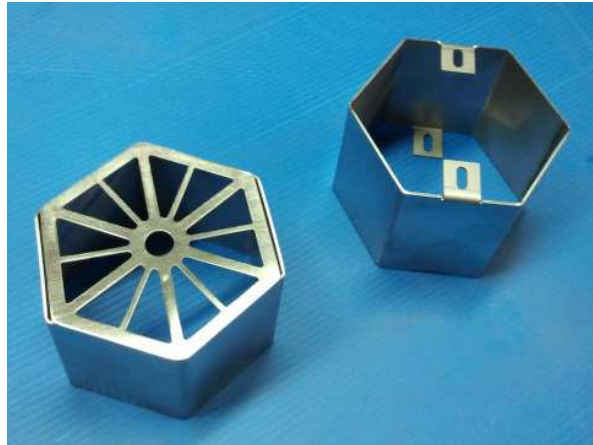


Figura 3.53 - Protecção e encaixe do ventilador



Figura 3.54 - Pá aplicada para o Restraining



Figura 3.55 - Componentes do cilindro do Food Deprivation

3.6 CUSTOS

Como qualquer equipamento inovador, é necessário construir um protótipo para se ter noção do melhor caminho a seguir, e por norma este tipo de projecto fica mais caro do que se fosse um produto já existente feito por encomenda, e sem comparação para equipamentos feitos em série.

Assim, neste capítulo são apresentados os custos totais que este protótipo irá consumir.

Tabela 3-5 - Orçamento para o protótipo

Entidade	Componente	Preço Unitário [€]	Quant.	IVA	Preço [€]
ELAX	VALVULA M&M B205 DBZ 2/2 1/2 NC S/BOB	50,11	1	23%	61.63
	BOBINE M&M 7700 220V AC	17,7	1	23%	21.7
	FICHA CAMOZZI 124-800	1,34	24	23%	39.55
	ACES. CAMOZZI 1511 08 1/4	1,29	24	23%	38.08
	ACES. CAMOZZI 2531 1/4 3/8	0,66	24	23%	19.48
	ACES. CAMOZZI 1590 08	2,26	24	23%	66.71
	MANGUEIRA HELIFLEX BRANCA 216-12	1,5	36 m	23%	66.42
	ACES. CAMOZZI 2601 12 1/2	1,9	24	23%	56.08
	RODIZIO MEC.30 PUST 75 F4	6,11	4	23%	30.06
	TUBO PU 8/6 AZUL	0,97	36 m	23%	42.91
Maquifrio	Motor de Ventilador HC-5425-13	13	24	23%	383.75
	Hélice	3	24	23%	88.56
Maxon Motor	Mecanismo Tilted Cage	1136	1	23%	1397.28
	Mecanismo Shaking	815	1	23%	1002.45
	Controladores	303	2	23%	745.38
Vitor Neto	Estrutura e Serralharia	2700	1	23%	3300
EIB	Suportes de ventiladore	8	6	23%	59.04
					7419.1 €

Apesar do valor descrito acima, nem todos os componentes e serviços foram adquiridos, e por esse motivo não se trata de custos do protótipo, mas sim um orçamento da concepção mecânica do protótipo.

4 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

4 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Em jeito de resumo, pode-se considerar que o desenvolvimento deste projecto e a construção do primeiro protótipo conceberam reacções positivas, despoletando o interesse de investigadores do ICVS, que inclusivamente têm intenção de registar a patente deste equipamento.

Este capítulo tem como finalidade apresentar as conclusões obtidas ao longo do trabalho realizado no âmbito da dissertação de mestrado e ainda os trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos.

Desta forma, neste capítulo são referidos os métodos que foram utilizados para a realização do projecto do equipamento de automatização dos paradigmas de stress aplicados aos roedores, seguindo-se os contributos gerais do equipamento, e ainda as vantagens associadas ao equipamento em questão.

Ainda neste capítulo são descritos os sistemas que no futuro poderiam ser adicionados para complementar o protótipo projectado, e que iriam enriquecer o conceito.

4.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu perceber a importância dos modelos de stress para a investigação associada ao tema, na área da Biomédica e da Psicologia.

O tipo de investigação desenvolvida no ICVS é muito sensível, e numa área como a da saúde, é sempre exigido um controlo rigoroso sobre os meios de experimentação, e a forma como estes modelos de stress eram aplicados empreendiam uma repetibilidade muito reduzida, aliada a um consumo de tempo e recursos elevados. Assim, este projecto tem como finalidade garantir uma maior fiabilidade aos resultados garantindo a repetibilidade das actividades de stress.

O projecto apresentado nesta dissertação vem no seguimento de outro projecto, previamente desenvolvido no DEM, mas que no entanto apresentava alguns defeitos e lacunas, pelo que se teve de voltar a analisar o problema do princípio, de forma a obter um produto de qualidade e que abrangesse uma gama de agentes stressores mais ampla.

O equipamento projectado permite uma redução significativa do consumo de tempo e de recursos humanos, para além da diminuição abrupta da exigência física que era imposta a quem quisesse seguir os protocolos de stress, bem como de todos os erros humanos que se iam acumulando ao longo do processo.

O projecto deste equipamento foi cuidado, seguindo os requisitos dos utilizadores, guiando-se pela experiência e opiniões de quem trabalha com estes modelos de stress diariamente, e do ponto de vista da engenharia, foi um projecto bem concebido, com soluções e mecanismos interessantes.

A infra-estrutura do equipamento foi desenvolvida tendo em conta diversos aspectos, um deles é ser a base para inclusão de todo o tipo de componentes de controlo do sistema por parte das futuras equipas de trabalho envolvidas no projecto.

A simplicidade de operação e de manutenção são também pontos de valor do equipamento.

Apesar de no final se ter investido o orçamento em componentes topo de gama e de qualidade inquestionável, todo o projecto se guiou pela redução de custos e economia de material e espaço.

Como critica negativa, pode-se referir que o atraso na construção do protótipo, prejudica a continuação do desenvolvimento do equipamento, o que infelizmente prejudica a imagem da qualidade geral do trabalho desenvolvido mas, no entanto, os desenhos estão entregues ao responsável pela construção do equipamento, garantindo a conclusão do equipamento sem atalhos e pressas que poderiam prejudicar a qualidade final do equipamento.

4.2 CONTRIBUTOS

O presente trabalho consistiu no desenvolvimento de sistemas para a automatização dos paradigmas de stress aplicados aos roedores e uma das motivações para o seu desenvolvimento era que este equipamento fosse vantajoso quando comparado com os métodos utilizados manualmente. Desta forma, são enumeradas as vantagens que este equipamento pode proporcionar aos seus utilizadores ao nível dos procedimentos da aplicação dos agentes stressores. Assim os principais contributos são:

- Redução do consumo de tempo e recursos;
- Maior repetibilidade, mesmo para os mecanismos actuados manualmente;
- No *hot air*, a velocidade do ar é sempre a mesma, e distribuído de forma igual em todas as gaiolas;
- O *restraining* é mais rápido e simples de executar e apresenta uma repetibilidade elevada, além de ser compatível com os diferentes tamanhos dos animais;
- O *shaking* é aplicado sempre da mesma forma, com a velocidade, frequência e amplitude igual de todas as vezes que se repete o procedimento, sem desgaste físico nenhum por parte do tratador e/ou investigador responsável, e com a possibilidade de regular a intensidade da vibração aquando da correcta programação;
- No *tilted cage* a inclinação é sempre a mesma de todas as vezes que se repete o procedimento;
- O *food deprivation* e o *inaccessible food* é adaptado de uma solução existente no mercado, simplifica o procedimento e reduz o consumo de tempo, sendo versátil para as duas aplicações;
- O *damp bedding* permite uma repetibilidade elevada, com o volume de água por gaiola muito semelhante devido à distribuição utilizada;
- O *noise*, *light cycle change*, *strob light* e *overcrowding*, ficam inseridos na sala, conferindo uma solução óptima para o biotério devido à versatilidade e à repetibilidade apresentada, que se pode alargar a outras *racks* quando necessário;
- O equipamento simplifica diversas actividades associadas à limpeza da gaiola e troca de comida e bebida.

4.3 TRABALHO FUTURO

De um modo geral, as soluções apresentadas neste trabalho inovador têm como principal objectivo contribuir para a automatização de todo o processo associado aos modelos de stress, ainda que no futuro se possam fazer outros sistemas ou melhorar os já existentes por forma a complementar o equipamento já apresentado.

Desta forma, podem ser efectuados diversos trabalhos no futuro, para melhorar a qualidade do projecto geral. Assim, ficam as sugestões de trabalho futuro:

Melhorar o sistema do *Food Deprivation*, melhorando o sistema de fecho e incorporando um motor de passo para automatização do método de permitir ou negar o acesso à comida;

Com o intuito de completar o equipamento no futuro seria benéfico dimensionar e projectar um sistema para o *Water Deprivation* e *Empty Bottle*;

Analisar, projectar e testar uma solução das que foi sugerida no projecto, para incorporar o factor da temperatura no sistema *Hot Air*, ampliando o estímulo agressivo;

Introdução de sensores para controlar variados factores, como por exemplo a temperatura, a luz, a posição, a velocidade do *shaking*, inclinação do *tilted cage*, volume de água, entre outros;

Melhorar o reservatório de água e o seu atravancamento na estrutura, promovendo uma melhoria no sistema *damp bedding* para alcançar um melhor desempenho;

Incorporar no equipamento mecanismos para aplicação do *Noise*, *Strob Light* e *Light Cycle Change*, tornando o equipamento independente da sala onde se pretende aplicar o stress;

Pintar, recorrendo a uma deposição electro-estática, as prateleiras e os suportes da gaiola, bem como a estrutura, para maior protecção e facilidade de limpeza

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

Andrade, A., Pinto, SC., and Oliveira, RS., orgs. Animais de Laboratório: criação e experimentação [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2002. 388 p. ISBN: 85-7541-015-6. Available from SciELO Books

Anisman, H., Tannenbaum, G. S., Sudom, K., & Tannenbaum, B. (2002). Neurochemical and behavioral alterations elicited by a chronic intermittent stressor regimen: Implications for allostatic load. *Brain Research*, 953, 82-92.

Cardoso, L., Banaco, R.; Efeitos do esquema de intervalo variável no desenvolvimento de anedonia induzida por estresse crônico moderado em ratos”; *Revista Brasileira de Análise do Comportamento*; 2009

Dalmaz, C., Manoli, L. P., Toerres, I. L., Silveira, R., & Gamaro, G. D. (2003). Effects of chronic variable stress on feeding behavior and mono-amine levels in different rat brain structures. *Neurochemistry International*, 42, 107-114.

Durgam RC. Rodent models of depression: learned helplessness using a triadic design in rats. *Curr Protoc Neurosci* 2001, Chapter 8: Unit 8 10B.

Félix Jorge; Sociedade Portuguesa de Psiquiatria e Saúde Mental; 2010

Glass, P., Spanagel, R., Bartsch, D., Henn, F., & Strekalova, T. (2004). Stress-induced anhedonia in mice is associated deficits in forced swimming and exploration. *Neuropsychopharmacology*, 29, 2007-2017.

Kudryavtseva NN, Bakshtanovskaya IV, Koryakina LA. Social model of depression in mice of C57BL/6J strain. *Pharmacol Biochem Behav* 1991, 38: 315-320

Muscat, R., Papp, M., & Willner, P. (1992). Reversal of stress-induced anhedonia by the atypical antidepressants, fluoxetine and maprotiline. *Psychopharmacology*, 109, 433-438.

O'Neil, M.F. and Moore, N.A. (2003) Animal models of depression: are there any? *Hum. Psychopharmacol.* 18, 239–254

P. Willner, A. Towell, D. Sampson, S. Sophokleous, R. Muscat; “Reduction of sucrose preference by chronic unpredictable mild stress, and its restoration by a tricyclic antidepressant”; *Psychopharmacology* (1987) 93:358-364

Preston, C.A.; Ivancevich, J.M.; Matteson, M.T. Stress and the OR nurse. *AORN J.*, v.33, n.4, p.662-71, 1981.

Ridder S, Chourbaji S, Hellweg R, Urani A, Zacher C, Schmid W, et al. Mice with genetically altered glucocorticoid receptor expression show altered sensitivity for stress-induced depressive reactions. *J Neurosci* 2005, 25: 6243-6250.

Seyle, H. Stress: a tensão da vida. Trad. Frederico Branco. São Paulo: Ibrasa, 1965.

Song, C. and Leonard, B.E. (2005) The olfactory bulbectomised rat as a model of depression. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 29, 627–647

Weiss, J. M. (1997). Does decreased sucrose intake indicate loss of preference in CMS model? *Psy-chopharmacology*, 134, 368-370.

Willner P, Muscat R, Papp M. Chronic mild stress-induced anhedonia: a realistic animal model of depression. *Neurosci Biobehav Rev* 1992, 16: 525-534.

Willner, P. (1984). The validity of animal models of depression. *Psychopharmacology*, 83, 1-16.

Willner, P. (1997). Validity, reliability and utility of the chronic mild stress model of depression: A 10-year review and evolution. *Psychopharmacology*, 134, 319-329.

Willner, P., Tower, D., Sampson, S., Sophokleous S., & Muscat, R. (1987). Reduction of sucrose preference by chronic unpredictable mild stress, and its restoring by a tricyclic antidepressant. *Psychopharmacology*, 93, 358-364.

<http://www.icvs.uminho.pt/>

Acedido em: 12/10/13

<http://www.intechopen.com/books/glucocorticoids-new-recognition-of-our-familiar-friend/using-rodent-models-to-simulate-stress-of-physiologically-relevant-severity-when-why-and-how>

Acedido em: 12/10/2013

<http://immmf.uncor.edu/index.php/es/ser/bio>

Acedido em: 22/08/2013

<http://www.tecnoplast.it/en/catalog/conventional-cages.html>

Acedido em: 14/09/2013

http://en.wikipedia.org/wiki/Animal_testing

Acedido em: 15/11/2013

http://emcs.mty.itesm.mx/wp/?page_id=232

Acedido em: 15/08/2013

http://www.eb-instruments.com/eb-instruments/english/default/item_id=911_Forced%20Swimming%20Test:%20New%20FST%20DUAL%20SENSOR.php

Acedido em: 12/09/2013

<http://www.researchdiets.com/biodaq/applications/taste-preference>

Acedido em: 28/03/2013

<http://www.tse-systems.com/products/behavior/conditioning-systems/multi-conditioning.htm>

Acedido em: 14/11/2013

<http://www.tse-systems.com/products/behavior/home-cage/phenomaster/index.htm>

Acedido em: 12/11/2013

<http://www.tse-systems.com/products/metabolism/feedtime.htm>

Acedido em: 11/11/2013

http://ircmj.com/?page=article&article_id=5369

Acedido em: 16/02/2013

http://www.ecyberspaces.com/products_small_list.asp?categoryid=364

Acedido em: 22/02/2013

http://www.casadasresistencias.pt/cr_pt.html

Acedido em: 24/07/2013

<http://www.sunon.com/index2/pro.php?c1=2>

Acedido em: 11/03/2013

http://www.minitecframing.com/Products/MiniTec_Products.html

Acedido em: 11/02/2013

<http://www.crr.com.br/rodizio-mobili.php>

Acedido em: 20/10/13

http://www.maxonmotor.com/medias/sys_master/8807042842654/13_182_EN.pdf

Acedido em: 10/06/2013

http://www.maxonmotor.com/medias/sys_master/8807051919390/13_270-271_EN.pdf

Acedido em: 10/06/2013

ANEXO A

EXEMPLOS DE PROGRAMAS DE CMS E CUS

ANEXO A – EXEMPLOS DE PROGRAMAS DE CMS E CUS

Tabela A.O-1 - Exemplo de Aplicação da CMS na Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo

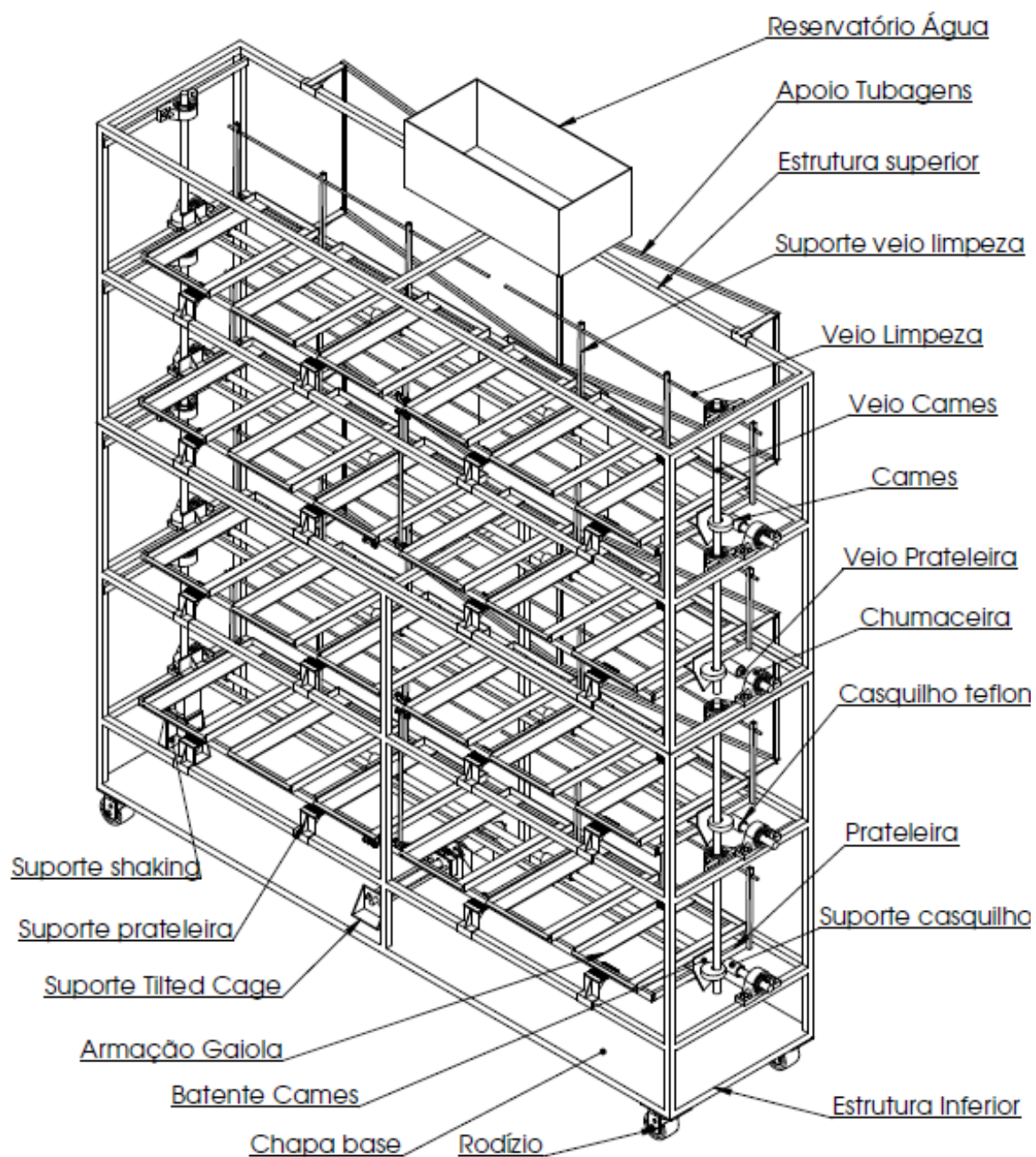
Dia	Agente Stressor	Tempo	Período
1	Imobilização	60 minutos	Tarde
2	Natação Forçada	15 minutos	Manhã
3	Isolamento frio	90 minutos	Tarde
4	Luz acesa à noite	12 horas	Noite
5	Natação Forçada	5 minutos	Manhã
6	Privação de água e alimento	14 horas	Noite
7	Imobilização	120 minutos	Tarde
8	Luz apagada	120 minutos	Tarde
9	Natação Forçada	5 minutos	Manhã
10	Luz acesa à noite	12 horas	Noite
11	Isolamento Frio	90 minutos	Manhã
12	Imobilização	60 minutos	Tarde
13	Privação de água e alimento	14 horas	Noite
14	Imobilização	60 minutos	Manhã

Tabela 0-2 – Exemplo da Aplicação do CUS no Departamento de Psicologia do *City of London Polytechnic* por Willner

		Food Deprivation	Water Deprivation	Continuous Lightning	Cage Tilt	Grouped Housing	Soiled Cage	Cold Room	Intermittent white noise	Stroboscopic lighting	Empty water Bottles	Restricted access to food	Odour	Foreign object in cage
Segunda Feira	Manhã				10:00	10:00	10:00			10:00 12:00				
	Tarde	15:00	15:00		17:00	17:00	17:00	15:00 15:30						
Terça Feira	Manhã		10:00			10:00	10:00							
	Tarde	15:00	15:00	17:00					15:00 18:00					
Quarta Feira	Manhã		11:00	10:00				10:00 10:30		10:00	10:00 11:00			
	Tarde	17:00	17:00	17:00						17:00				
Quinta Feira	Manhã		11:00 10:00		10:00			10:00 10:30						
	Tarde			17:00	17:00	17:00 17:00								17:00
Sexta Feira	Manhã	12:00		10:00		10:00 10:00 10:00			12:00			10:00 12:00		10:00
	Tarde		18:00					14:00 14:30	17:00				17:00	
Sábado	Manhã	10:00	10:00										10:00	
	Tarde			17:00										
Domingo	Manhã	12:00	12:00 12:00	12:00										
	Tarde				17:00									

ANEXO B

LISTA DE PEÇAS



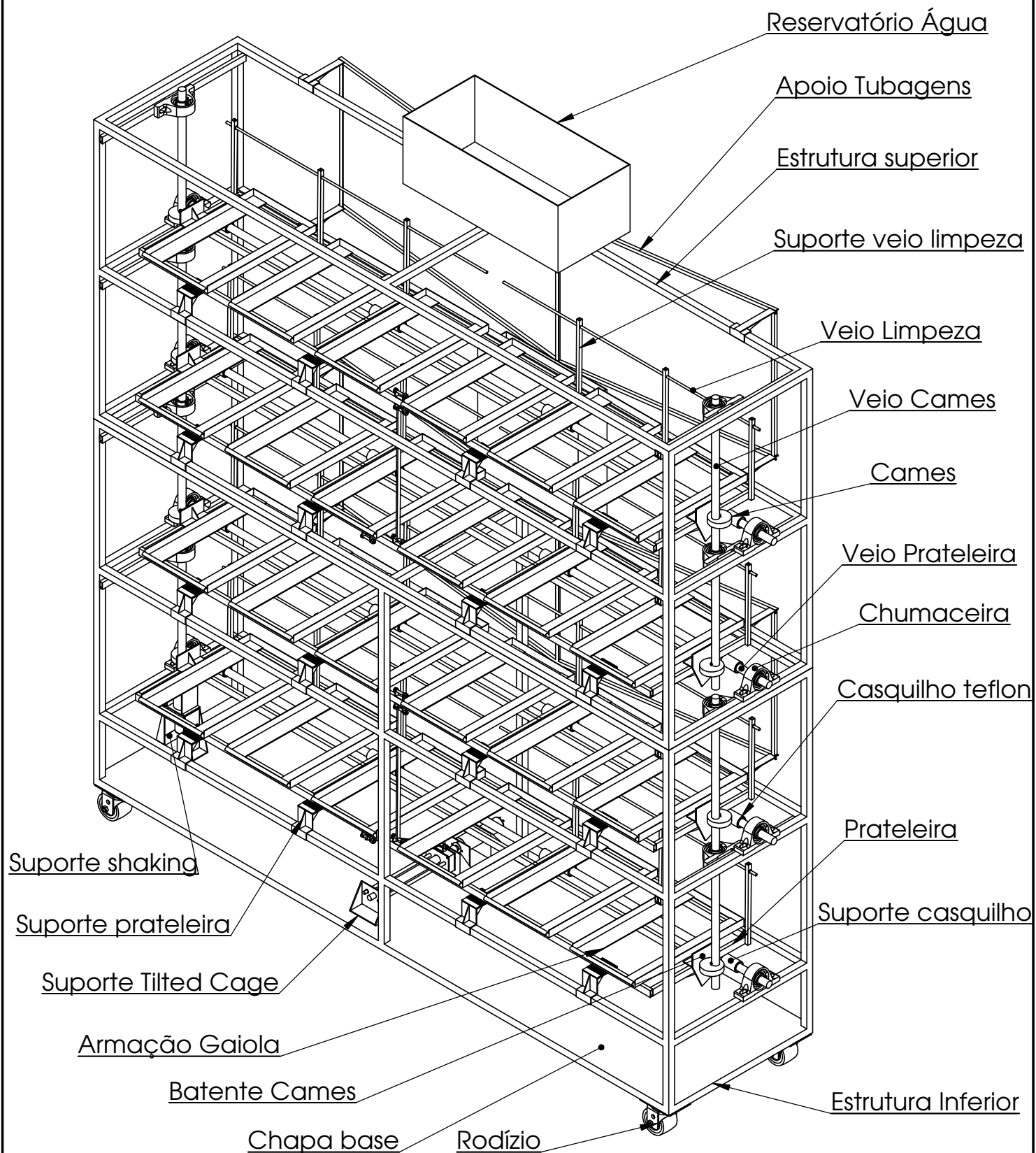
Peça/componente	Quant.	Estado	Equipamento de Stress
Estrutura parte inferior	1	Concluido	Estrutura
Estrutura parte superior	1	Concluido	
Reforço estrutura	4	Concluido	
Prateleira	4	Concluido	
Suporte gaiola	24	Concluido	
Suporte prateleira	16	Concluido	
Reforço suporte prateleira	16	Concluido	
Suporte veio prateleira	16	Concluido	
Casquilhos teflon	16	Concluido	
Placa teflon plateleiras	16	Concluido	
Batente cames	4	Concluido	
Teflon batente cames	4	Concluido	
Suporte tubos	2	Concluido	
Reforço apoio prateleiras	16	Concluido	
Suporte veio limpeza	16	Concluido	
Veio limpeza	16	Concluido	
Reforço batente cames	4	Concluido	
Suporte Chumaceiras	8	Concluido	
Suporte Rodízios	4	Concluido	
Chapas base	2	Desenhos concluídos/entregues/em construção (Vitor Neto)	
Reservatório		Desenhos concluídos/entregues/em construção (Vitor Neto)	
Rodízios		Adquiridos	Shaking
Chumaceiras		Adquiridos	
Chavetas		Adquiridos	
Parafusos		Adquiridos	
Cames	4	Desenhos concluídos/entregues/em construção (Vitor Neto)	
Veio Cames	1	Desenhos concluídos/entregues/em construção (Vitor Neto)	
Batente cames	4	Concluido	
Teflon batente cames	4	Concluido	
Mola de compressão	4	Não adquiridos	
Motor	1	Adquirido	

Redutora	1	Adquirido	
Controlador	1	Adquirido	
Suporte do motor	1	Desenhos concluídos/entregues/em construção (Vitor Neto)	
Suporte motor tilted cage	1	Desenhos concluídos/entregues/em construção (Vitor Neto)	Tilted Cage
Guias tilted cage	2	Desenhos concluídos/entregues/em construção (Vitor Neto)	
Porca	1	Desenhos concluídos/entregues/em construção (Vitor Neto)	
Veio roscado	1	Desenhos concluídos/entregues/em construção (Vitor Neto)	
suporte veio roscado	1	Desenhos concluídos/entregues/em construção (Vitor Neto)	
Motor	1	Adquirido	
Redutora	1	Adquirido	
Travão	1	Adquirido	
Controlador	1	Adquirido	
Barras ligação prateleiras	4	Desenhos concluídos/entregues/em construção (Vitor Neto)	
Reservatório	1	Desenhos concluídos/entregues/em construção (Vitor Neto)	Damp Bedding
VALVULA M&M B205 DBZ 2/2 1/2 NC S/BOB	1	Não adquiridos	
BOBINE M&M 7700 220V AC	1	Não adquiridos	
FICHA CAMOZZI 124-800	24	Não adquiridos	
ACES. CAMOZZI 1511 08 1/4	24	Não adquiridos	
ACES. CAMOZZI 2531 1/4 3/8	24	Não adquiridos	
ACES. CAMOZZI 1590 08	24	Não adquiridos	
MANGUEIRA HELIFLEX BRANCA 216-12	36 m	Não adquiridos	
ACES. CAMOZZI 2601 12 1/2	24	Não adquiridos	
RODIZIO MEC.30 PUST 75 F4	4	Não adquiridos	

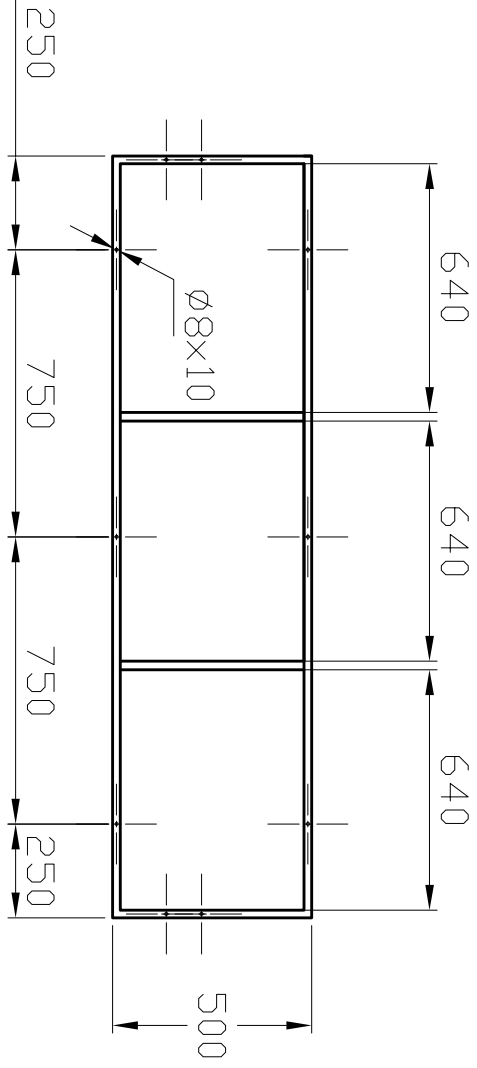
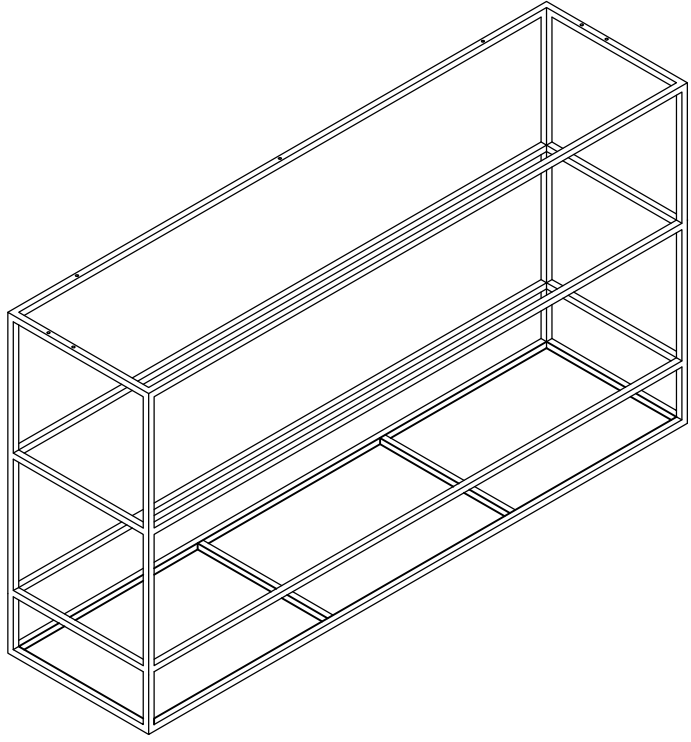
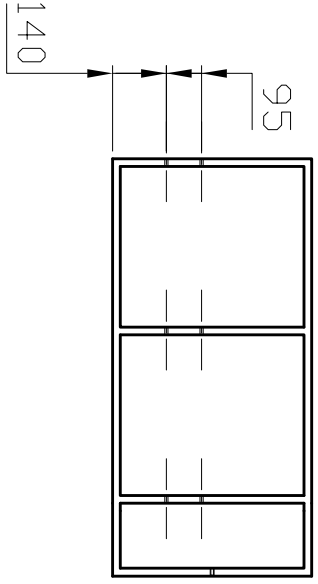
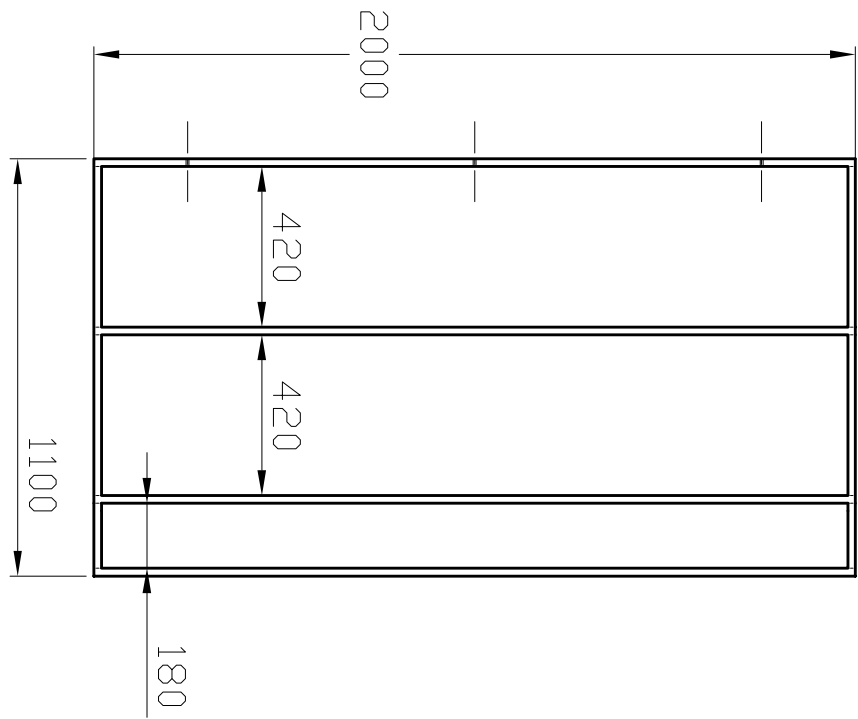
TUBO PU 8/6 AZUL	36 m	Não adquiridos	
Pá Restraining	1	Em construção EIB	Restraining
Pega Pá Restraining	1	Em construção EIB	
Meio cilindro rolo comida	1	Em construção EIB	Food Deprivation
Meio cilindro aberto comida	1	Em construção EIB	
Apoio cilindro comida	2	Em construção EIB	
Suporte ventilador hot air	2	Em construção EIB	Hot Air
Tubo Hot Air	2	Em construção EIB	
Tampa Hot Air	1	Em construção EIB	
Ventiladores		Não Adquiridos/Não encomendados	
Pás Ventilador		Não Adquiridos/Não encomendados	
Resistências		Não Adquiridos/Não encomendados	

ANEXO C

DESENHOS TÉCNICOS

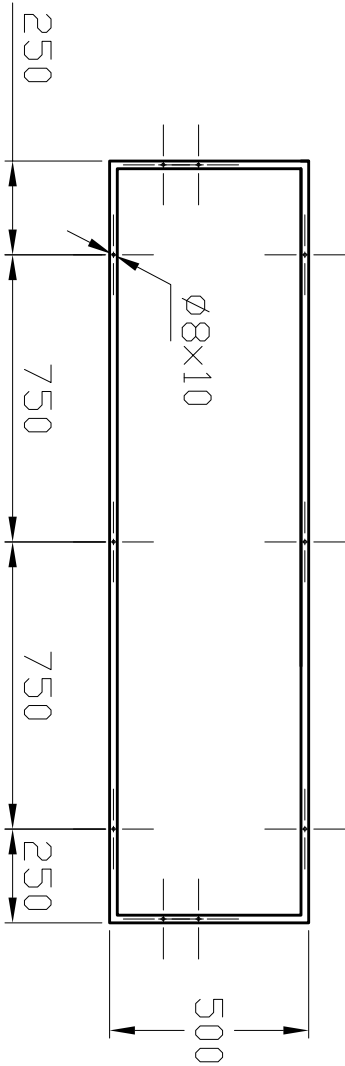
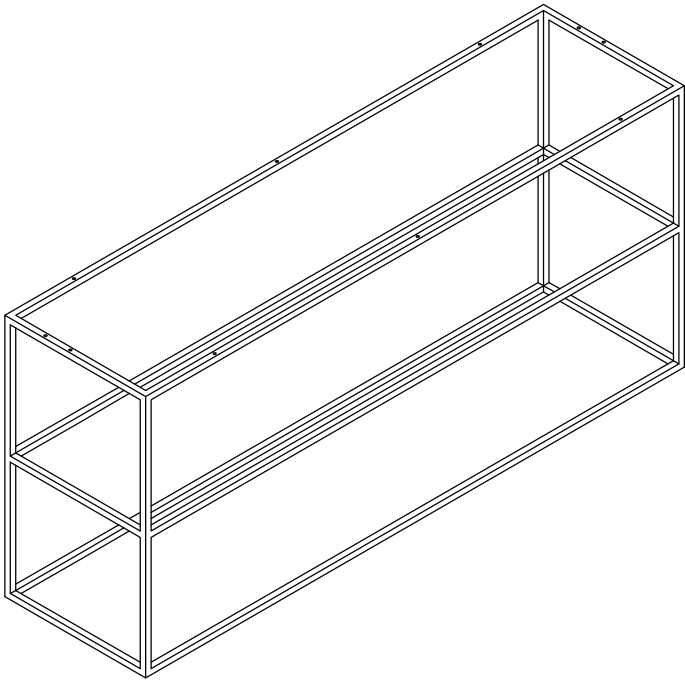
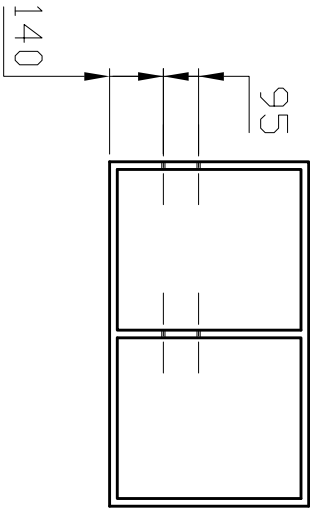
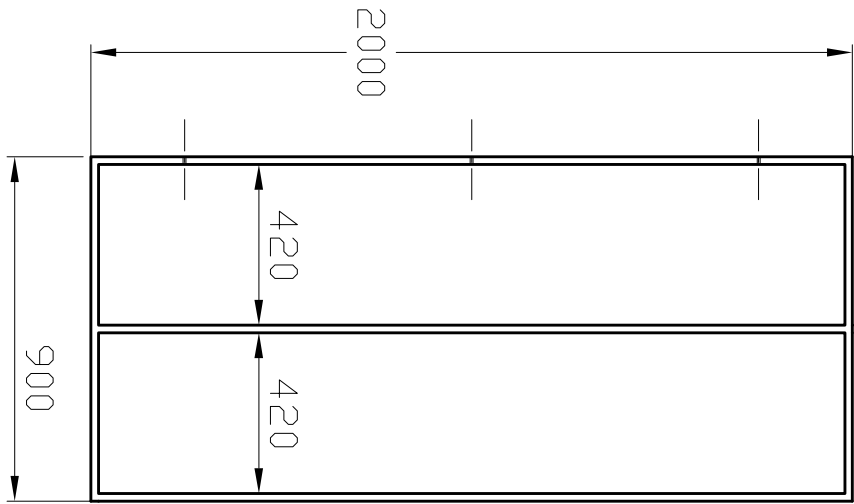


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:	
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A										DWG NO.	
										conjunto f	
										A4	
										SHEET 1 OF 1	
										SCALE:1:50	
										WEIGHT:	



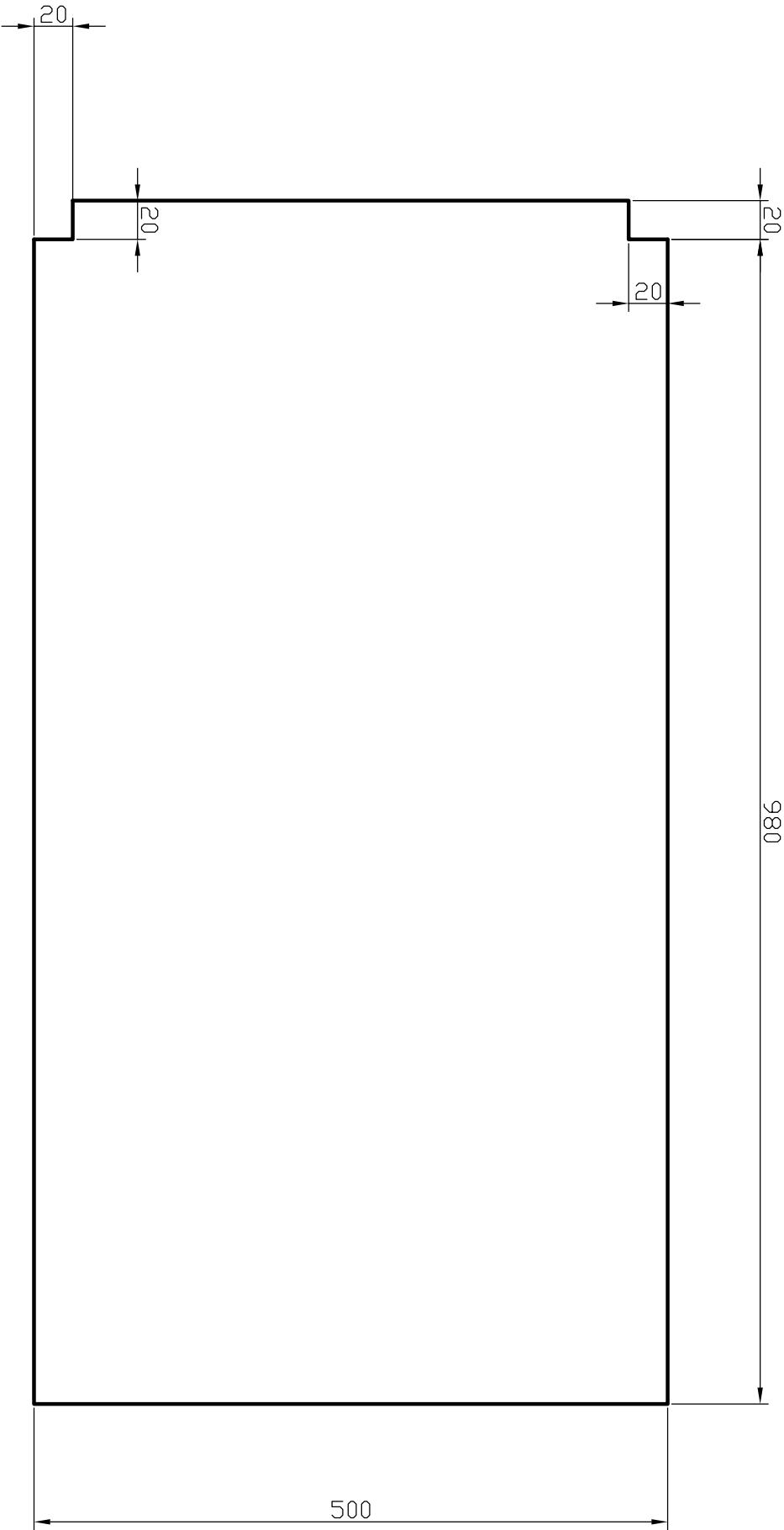
Quantidade: 1 (un)

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:				DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION					
DRAWN		NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE: Estrutura (parte inferior)		DWG NO.		A4			
CHK'D															
APPV'D															
MFG															
Q.A															
						MATERIAL: Tubo 20x20 Aço Inox 304									
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT														1 OF 1	



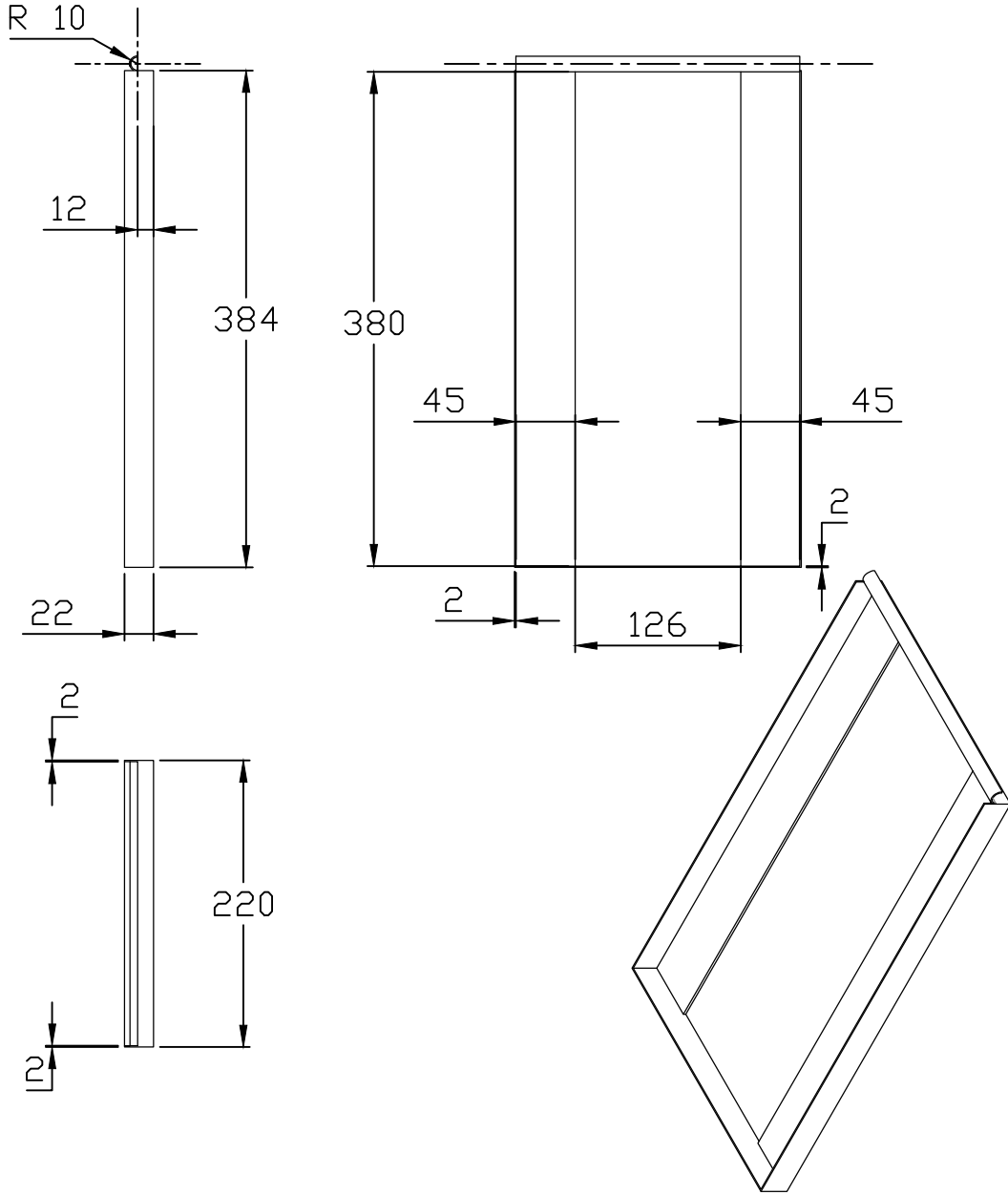
Quantidade: 1 (un)

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:						FINISH:				DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION			
DRAWN CHK'D APPV'D MFG Q.A						NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE: Estrutura (parte superior)		DWG NO.		A4	
						MATERIAL:		Tubo 20x20 Aço Inox 304									
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT																	



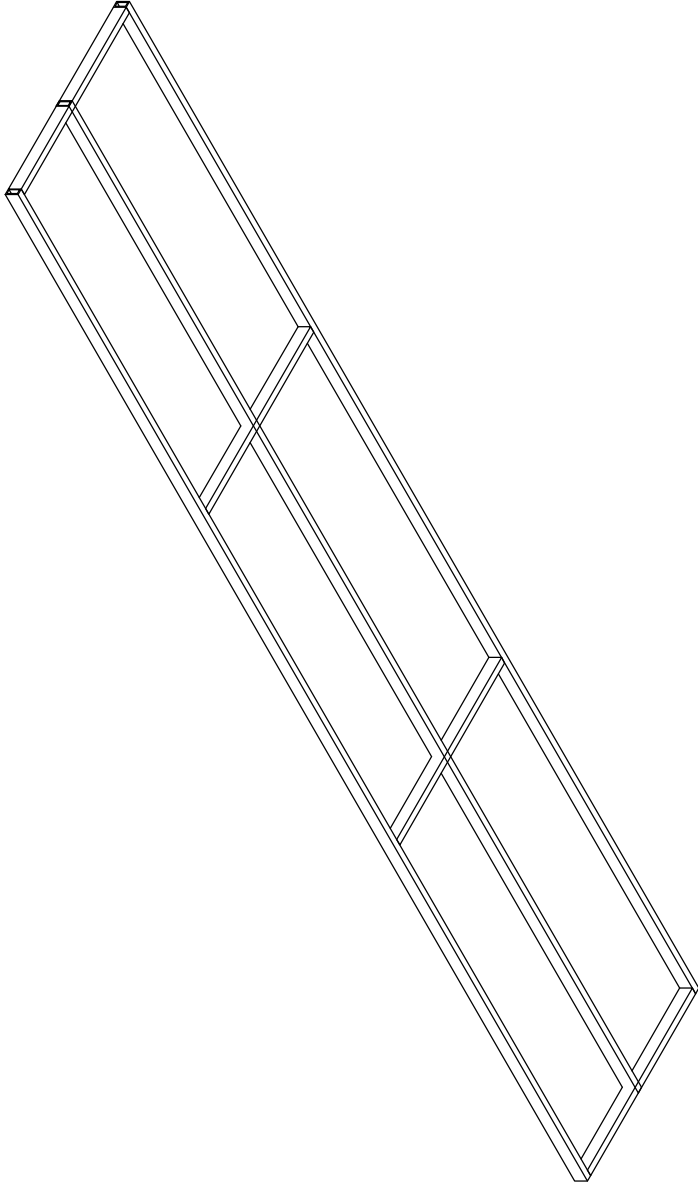
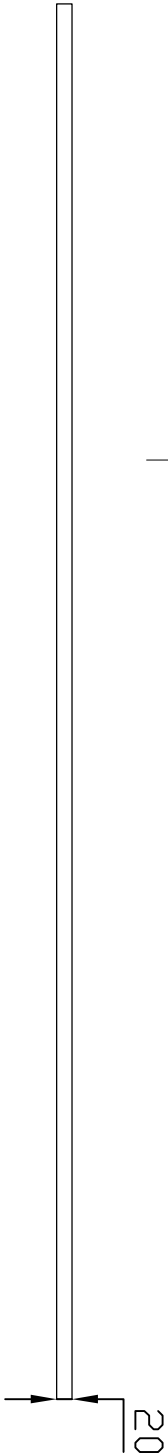
Material: Chapa de 1 mm Aço Inox
Quantidade: 2 (dois)

Projecto				Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automa tização dos protocolos de stress
Desenho					
Cópia					
Vista					
Escala	Chapa Base				
Toler.					
Substitui:					

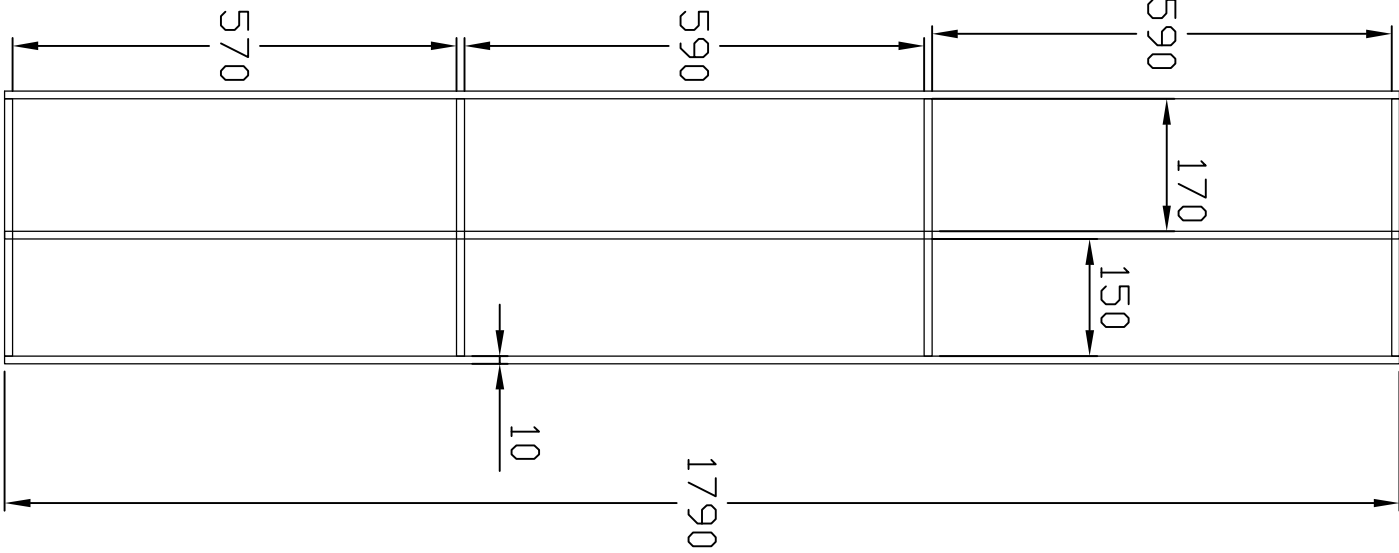


Quantidade: 24 (vinte e quatro)
Material: Chapa de 2 mm de Aço Inox 304

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT											
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH#				DEBUR AND BREAK SHARP EDGES			
SURFACE FINISH:				NAME				SIGNATURE			
TOLERANCES:				DATE							
LINEAR:											
ANGULAR:											
				DRAWN							
				CHK'D							
				APPV'D							
				MFG							
				QA							



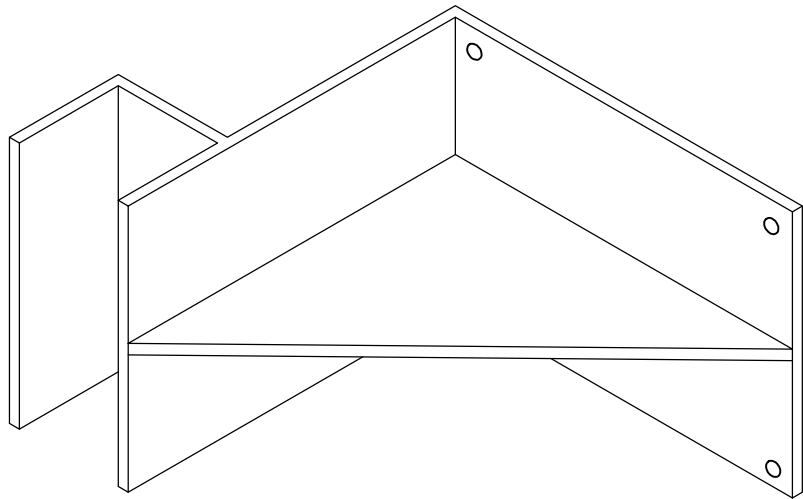
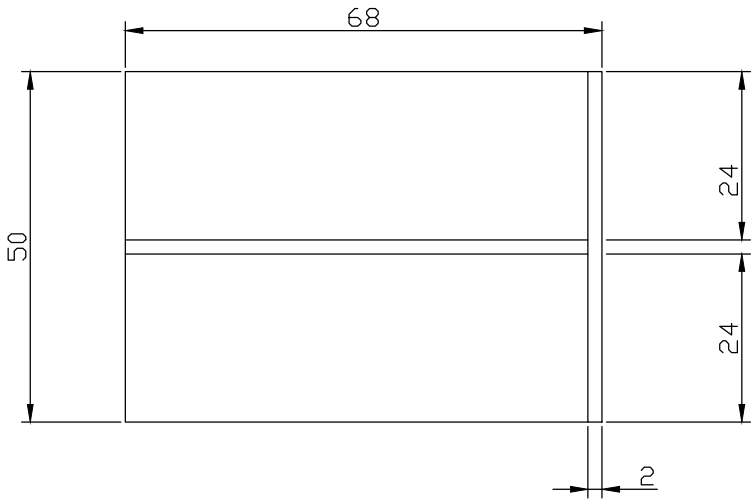
Quantidade: 4 (quatro)
Tubo de 20x10



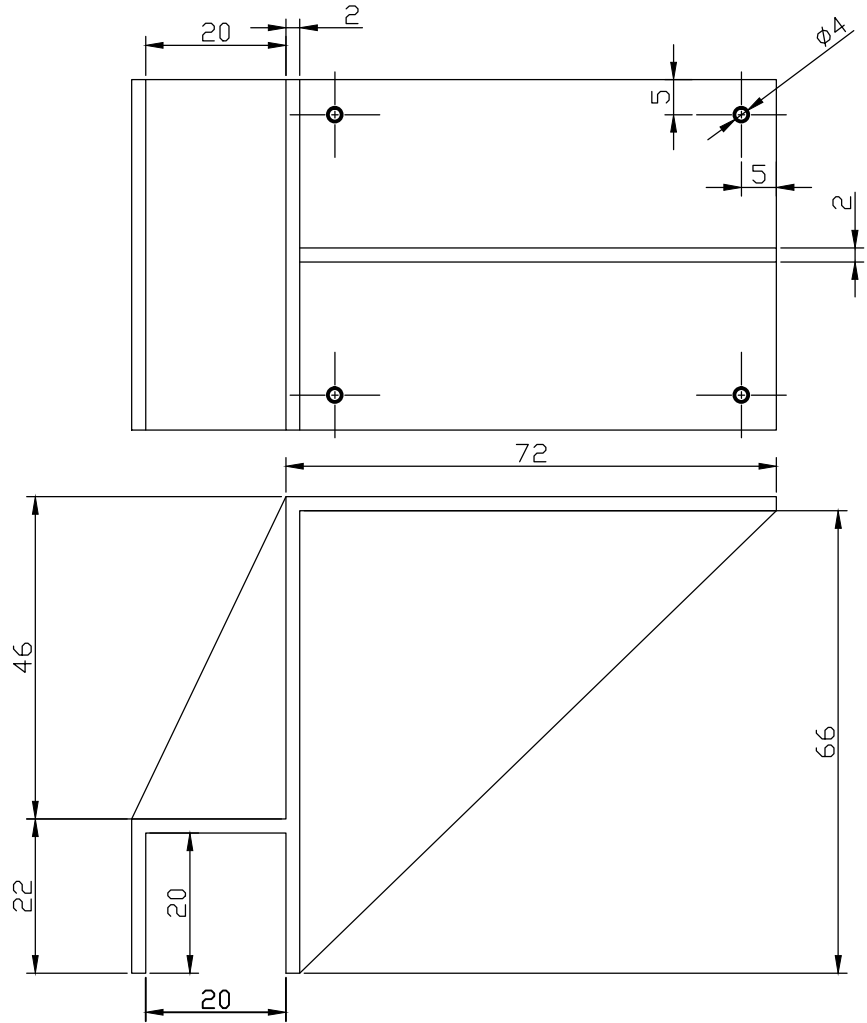
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:	FINISH	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	PRODUCT	
			DID NOT SCALE DRAWING	
			REVISION	

NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE:
DRAWN						
CHK'D						
APPV'D						
MFG						
QA						
MATERIAL:						DWG NO.
Inox 304						Orateleira correta

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

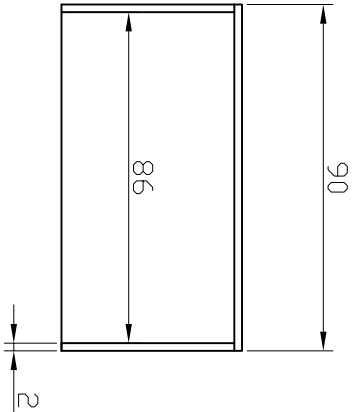
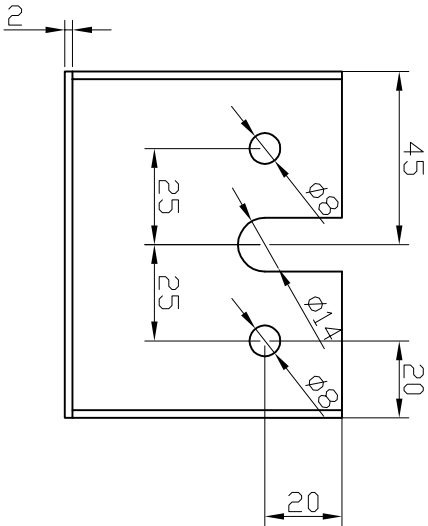
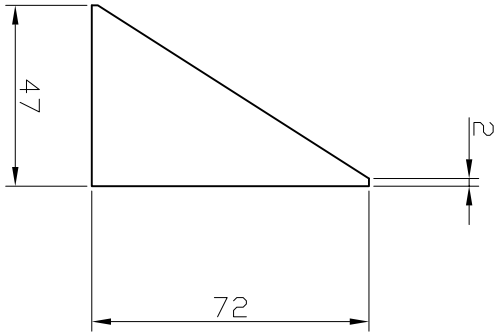


Material: Chapa 2 mm Aço Inox 304
Quantidade: 16 (dezasseis)



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automatização dos protocolos de stres						
Desenho				50153 - Pedro Costa						
Copiou										
Vista										
Escala	Suporte prateleira									
Toler.										
				Substitui:						
	Substituído por:									



Projecç				
Desenho				
Copiou				
Vista				
Escala				

Universidade do Minho

Departamento de

Engenharia Mecânica

Automação dos

protocolos de stress

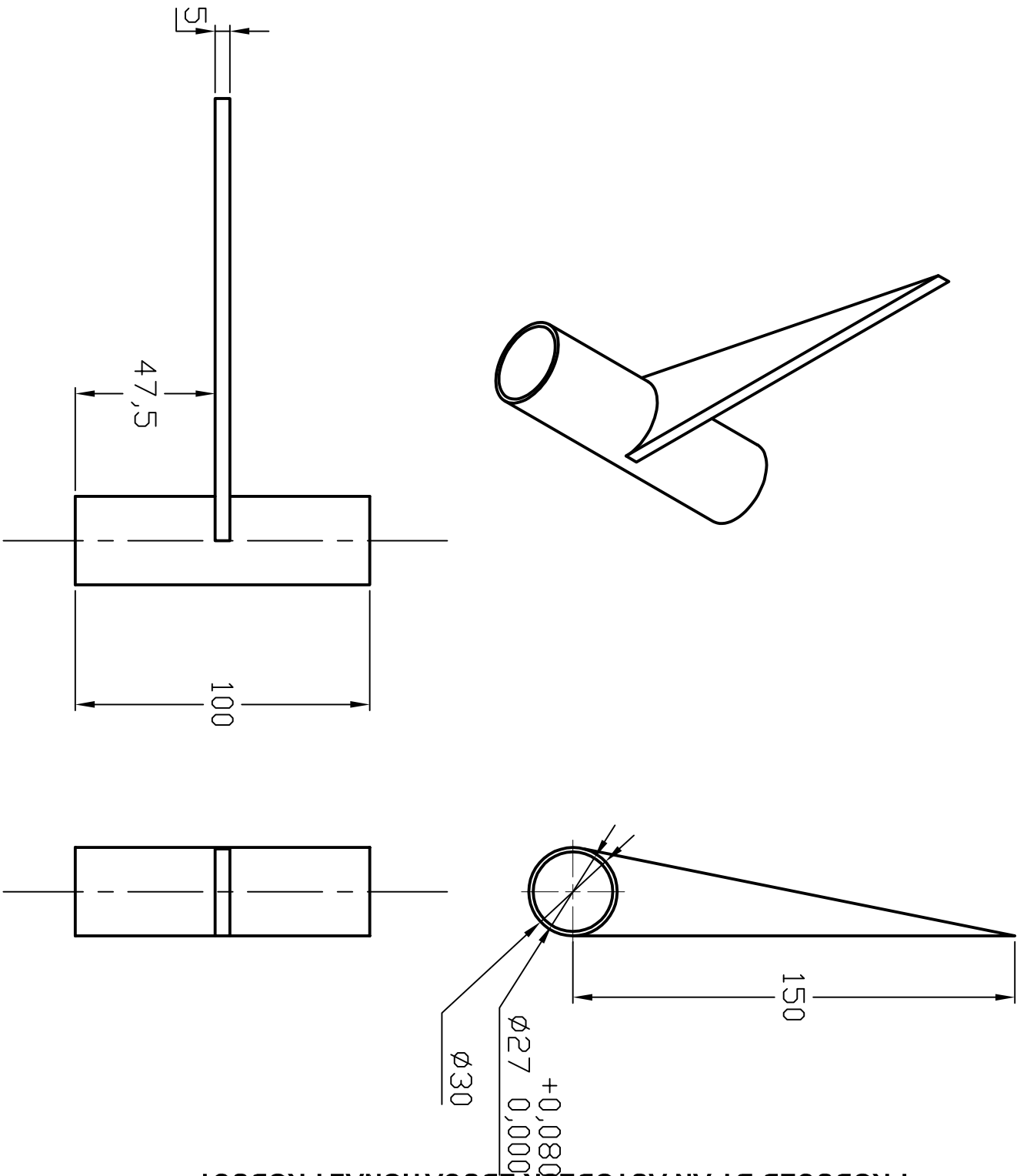
50153 - Pedro Costa

Material: Aço Inox 403

Quantidade: 2

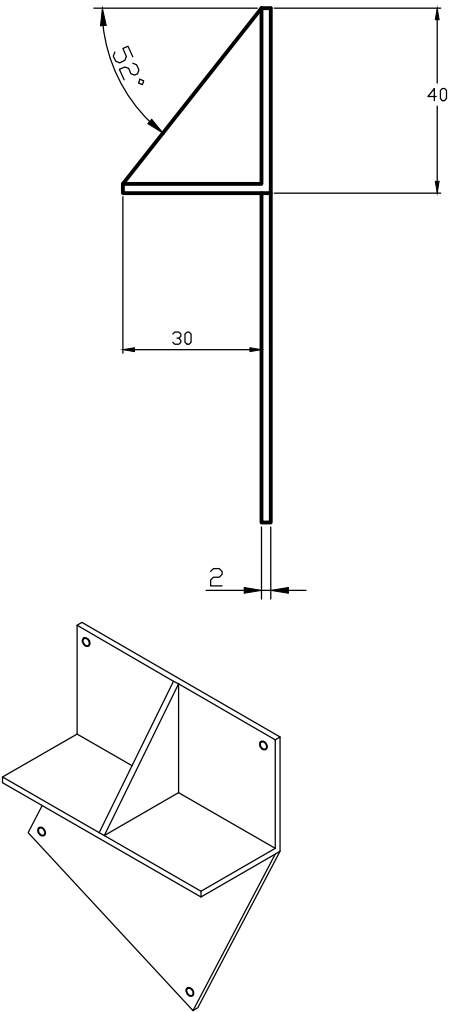
Apoio para fuso

Tilted Cage

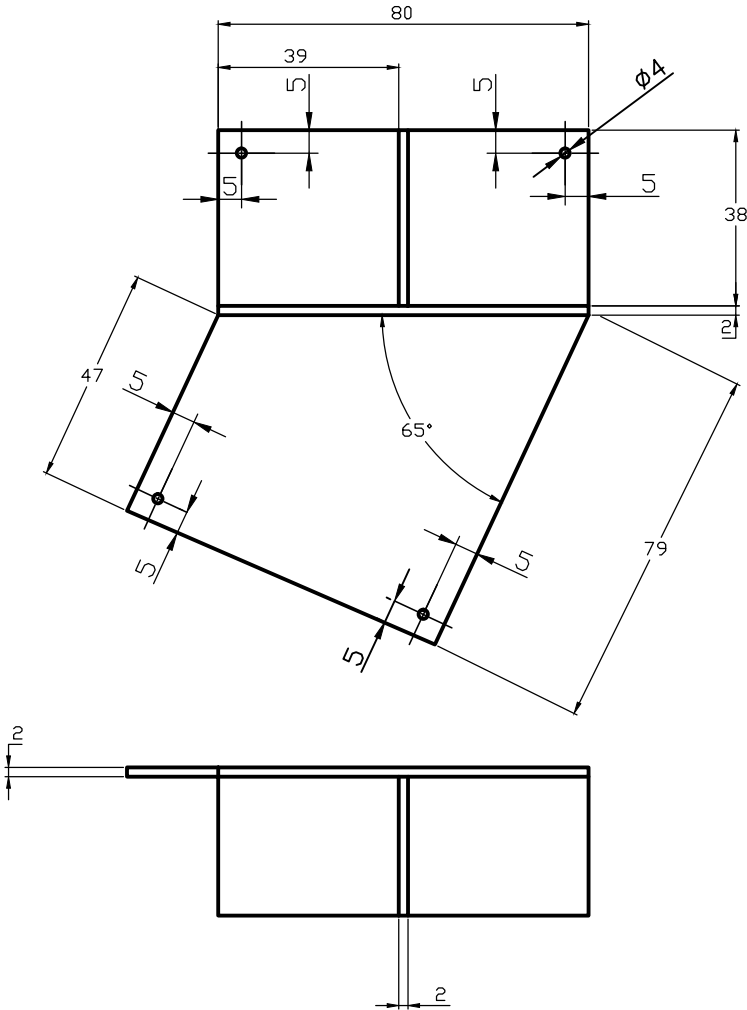


Quantidade: 16

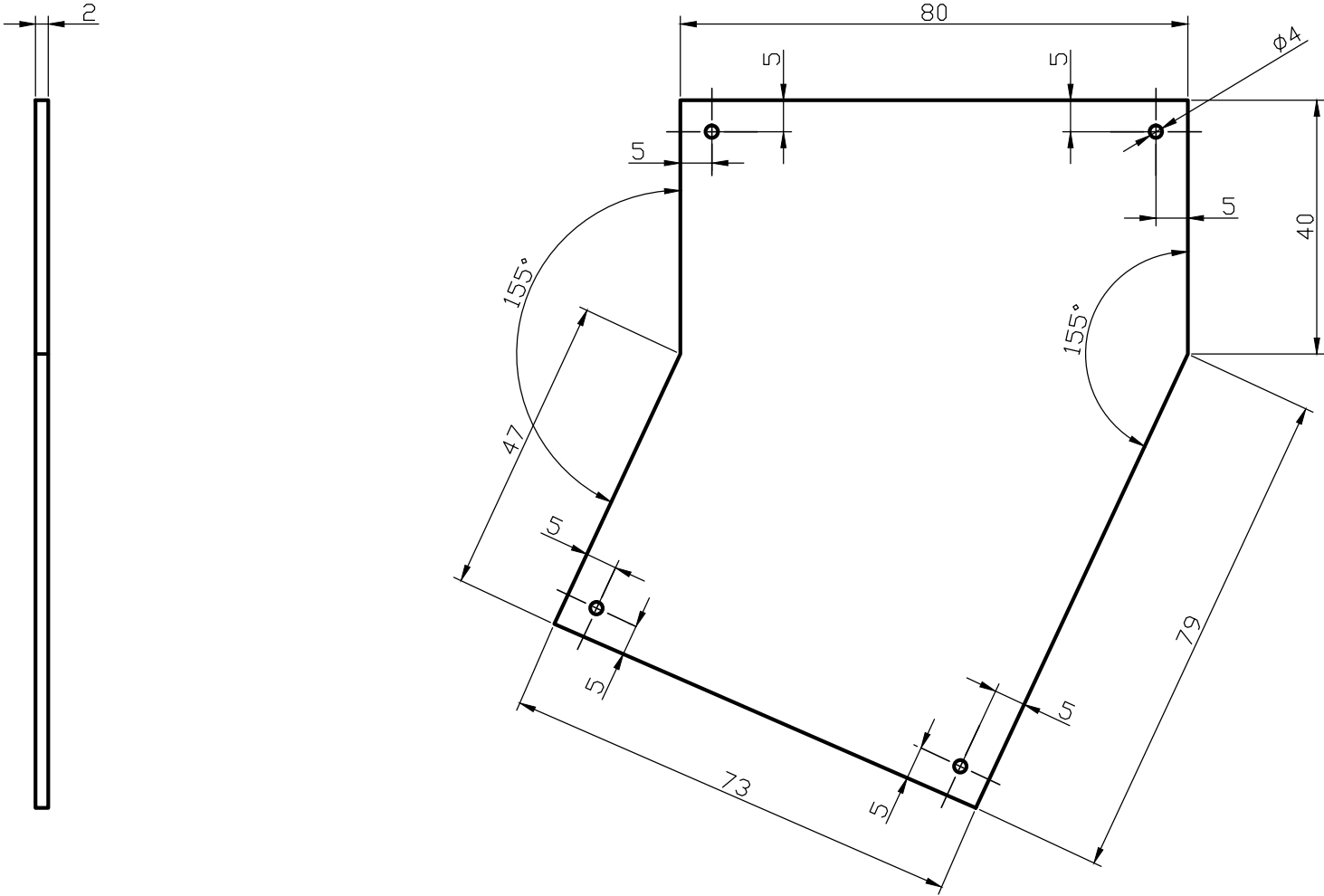
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT									
QA									
MFG									
APPV'D									
CHK'D									
DRAWN									
NAME	SIGNATURE	DATE							
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES			
TITLE:									
apoio veio prateleira						DWG NO.			
						A4			
DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		SHEET 1 OF 1					



Material: Aço Inox
Quantidade: 4 (quatro)



Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automatização dos protocolos de stress						
Desenho				50153 - Pedro Costa						
Copiou										
Vista										
Escala	Batente Cames Prateleira									
Toler.										
				Substitui:						
				Substituído por:						

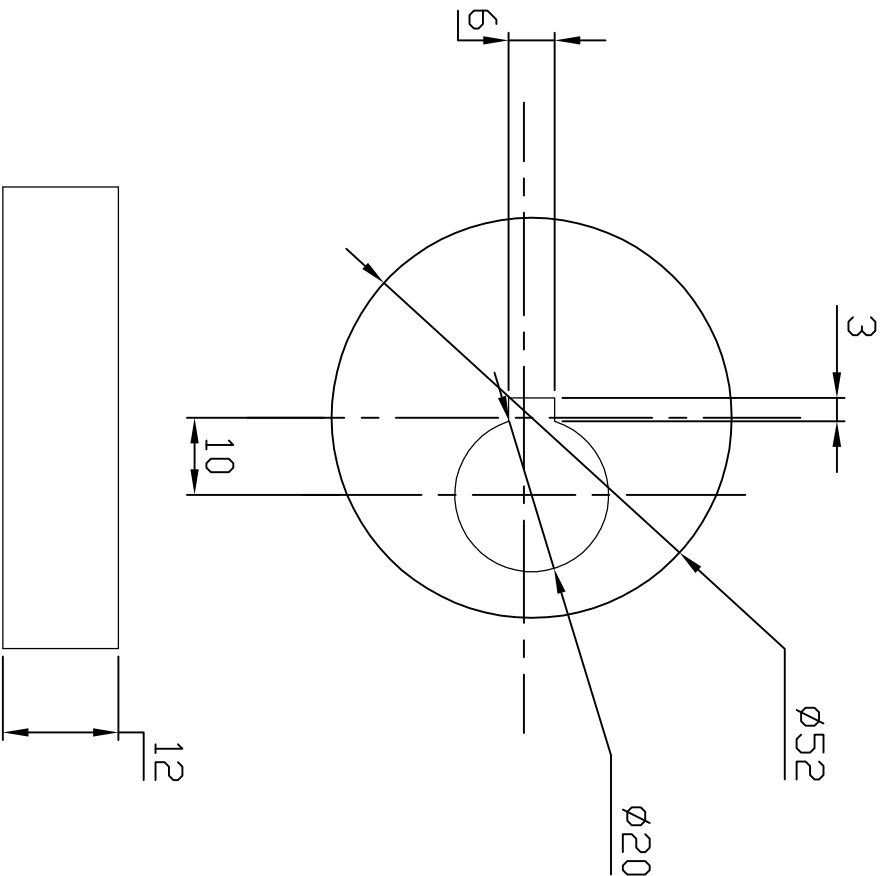


Material: Teflon
Quantidade: 4 (quatro)

Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automatização dos protocolos de stress						
Desenho				50153 - Pedro Costa						
Copiou										
Vista										
Escala	Batente Cames									
Toler.										
				Substitui:						
			Substituído por:							



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

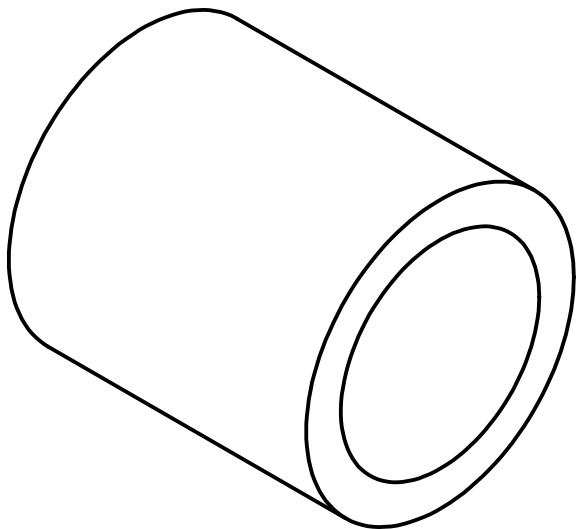
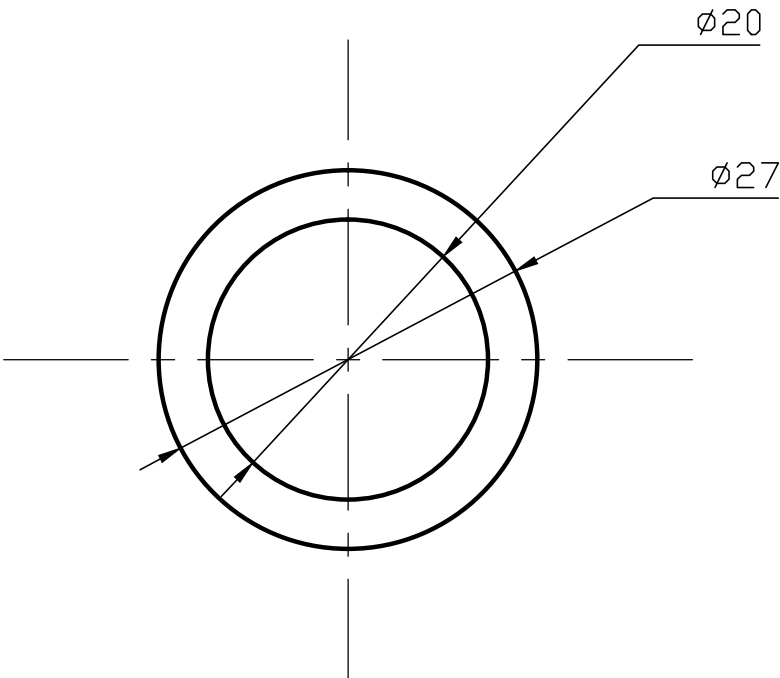
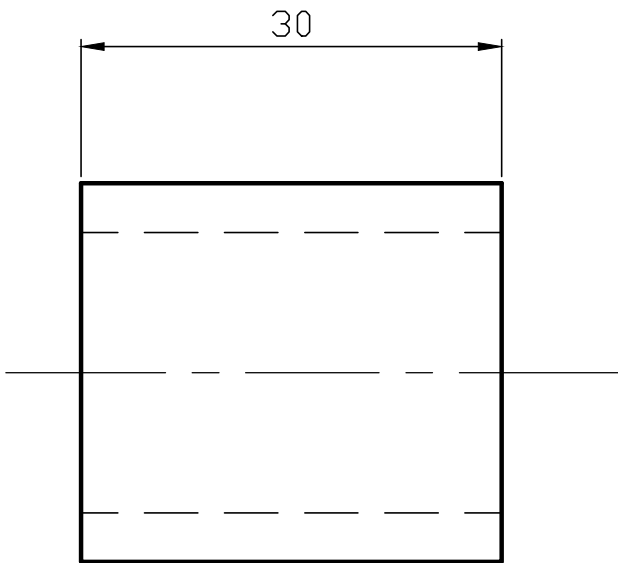


Projec		Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automação dos protocolos de stress
Desenho			
Cópia			
Vista			
Escala			50153 - Pedro Costa

Toler,	

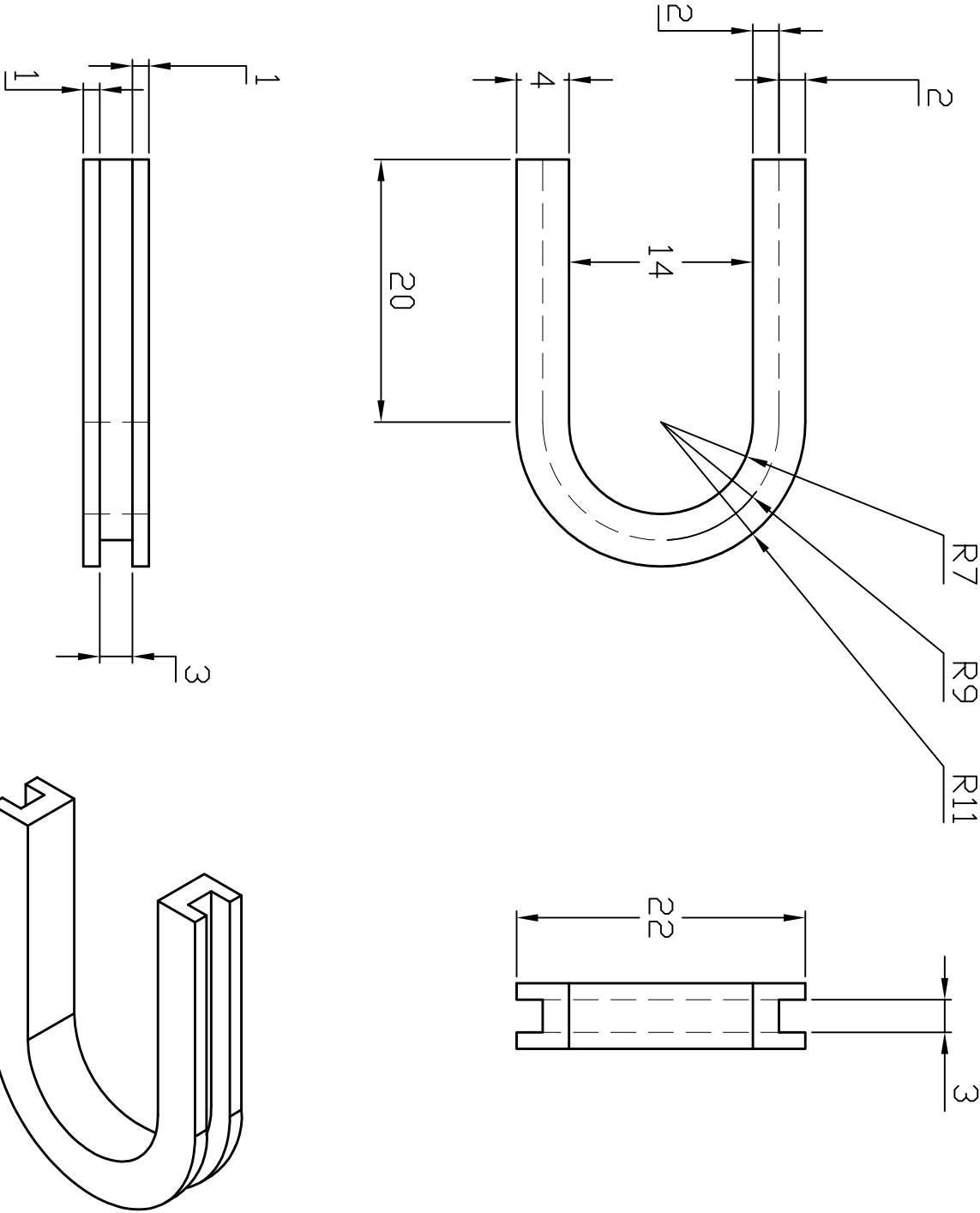
cames

								Substituui:		
								Substituto por:		



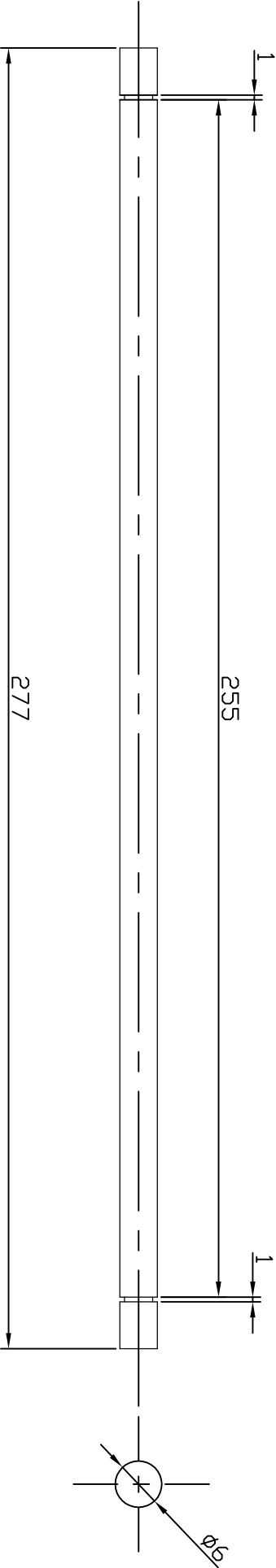
Material: Teflon
Quantidade: 16 (dezassex)

Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automatização dos protocolos de stress						
Desenho				50153 - Pedro Costa						
Copiou										
Vista										
Escala	Casquilhos Shaking									
Toler.										
PRODUCED BY AN AUTODESK				Substituído						
				Substituído por:						



Quantidade: 1 (un)

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:						FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING		REVISION
	NAME	SIGNATURE	DATE						TITLE: chumaceira Tilted Cage teflon		
DRAWN											
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A									DWG NO.		A4
						MATERIAL: teflon			PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT		



Material: Veio 6 mm Aço Inox
Quantidade: 2 (dois)

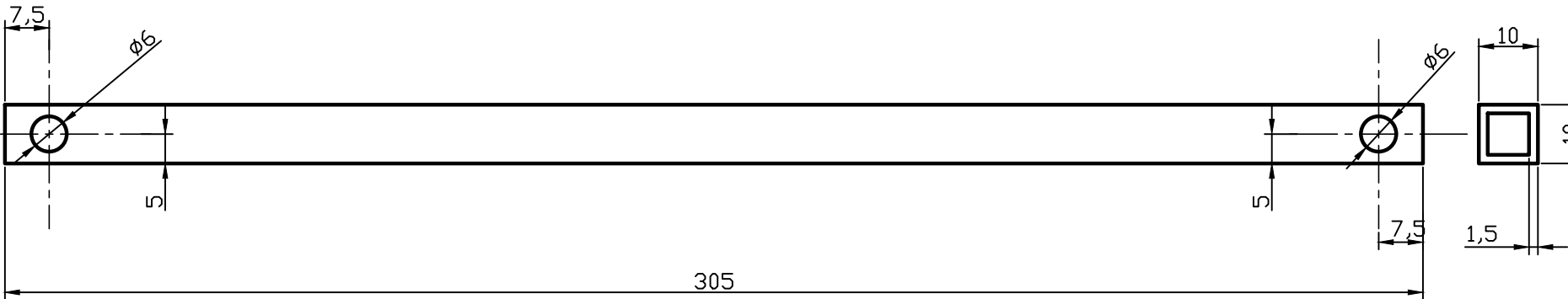
Projecto			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automa tização dos protocolos de stress
Desenho				
Cópia				
Vista				
Escala				50153 – Pedro Costa

guia
tilted cage

Toler.

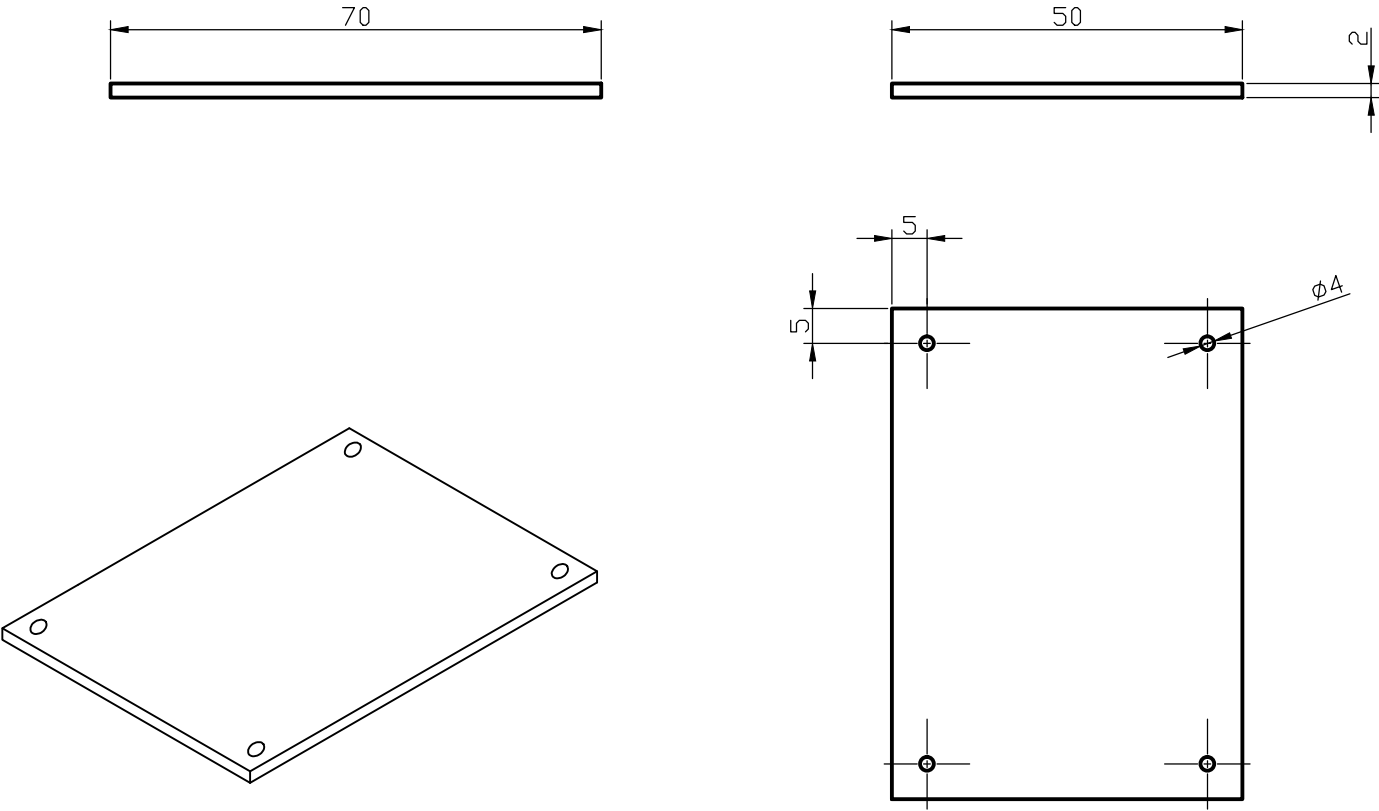
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



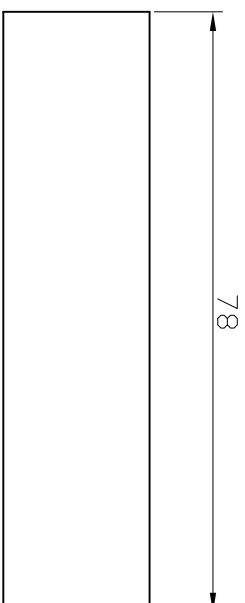
Material: tubo 10x10 Aço Inox
Quantidade: 1 (un)

Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automatização dos protocolos de stress						
Desenho										
Copiou				50153 - Pedro Costa						
Vista										
Escala	Ligação prateleiras Tilted Cage									
Toler.										
			Substitui:							
			Substituído por:							



Material: Teflon
Quantidade: 16 (dezasseis)

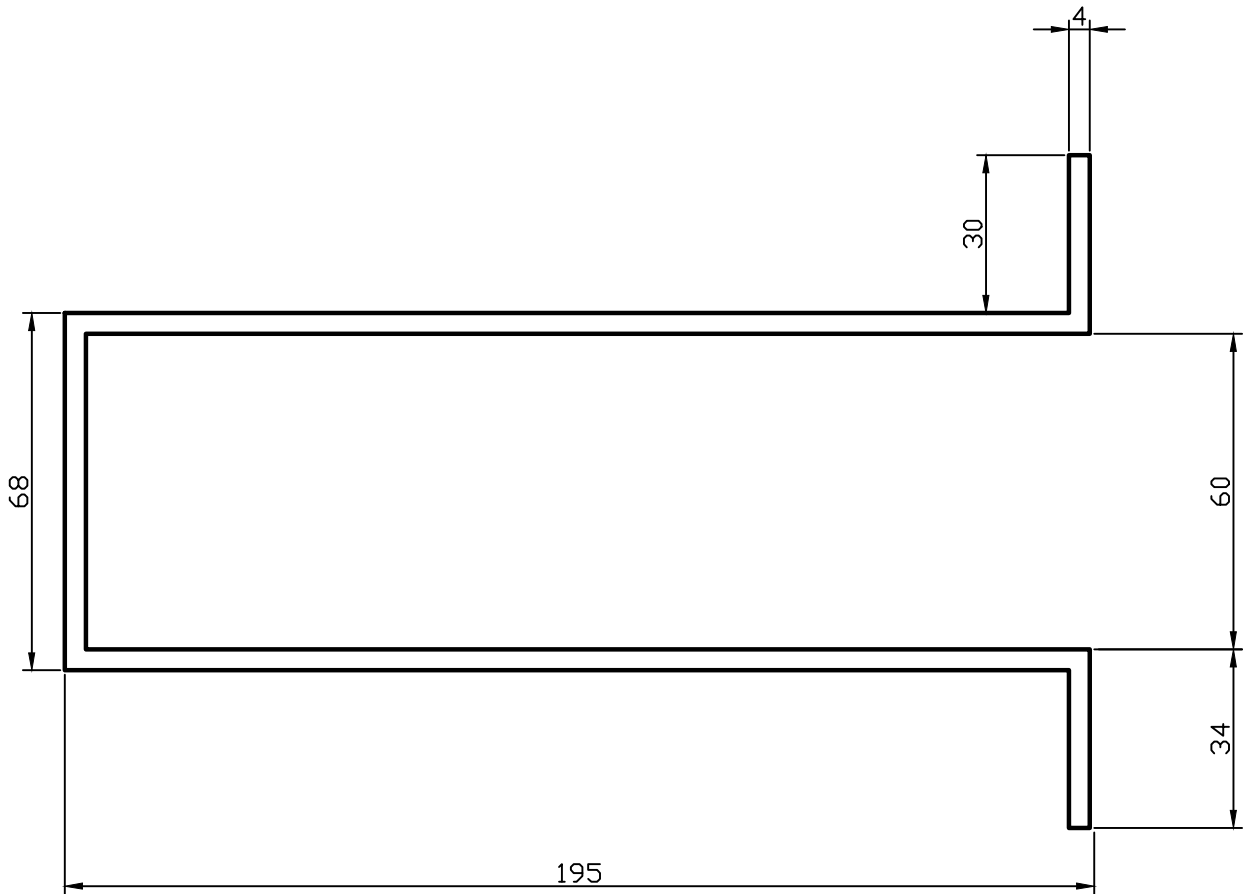
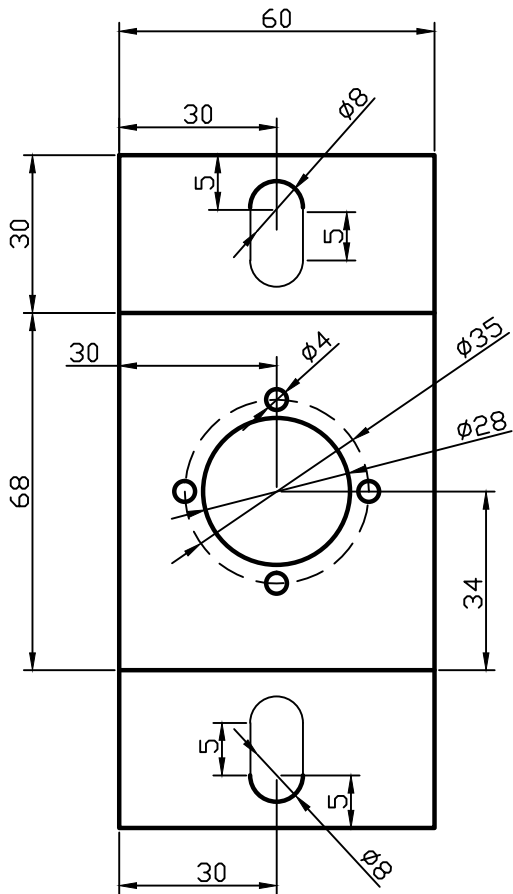
Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automatização dos protocolos de stress						
Desenho										
Copiou										
Vista				50153 - Pedro Costa						
Escala	Placa Teflon									
Toler.										
			Substitui:							
			Substituído por:							



Automação dos protocolos de stress
50153 - Pedro Costa

[illegible]

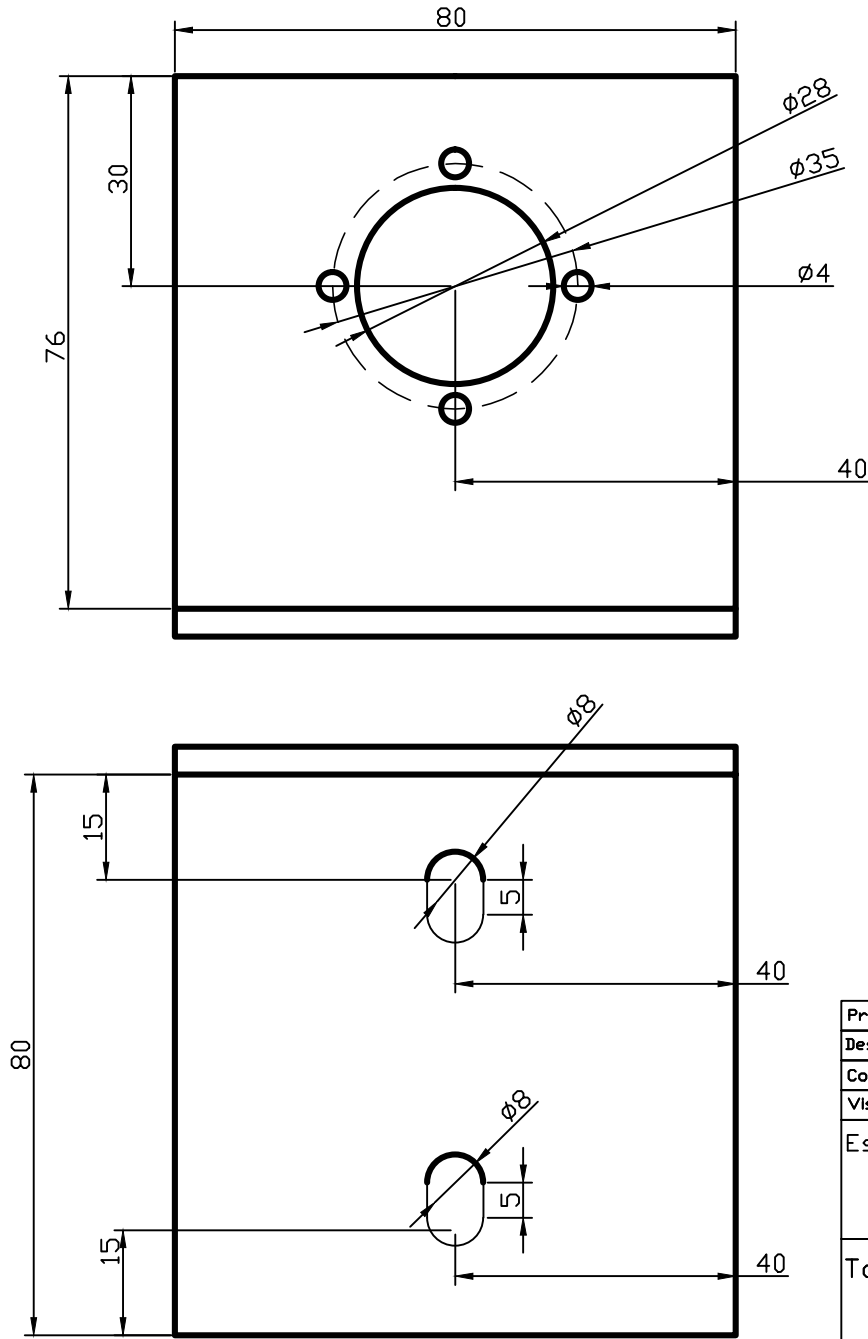
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Material: Chapa de 4 mm Aço Inox
Quantidade: 1 (um)

Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automatização dos protocolos de stress						
Desenho										
Copiou				50153 - Pedro Costa						
Vista										
Escala	Suporte Motor									
Toler.										
				Substitui:						
				Substituído por:						

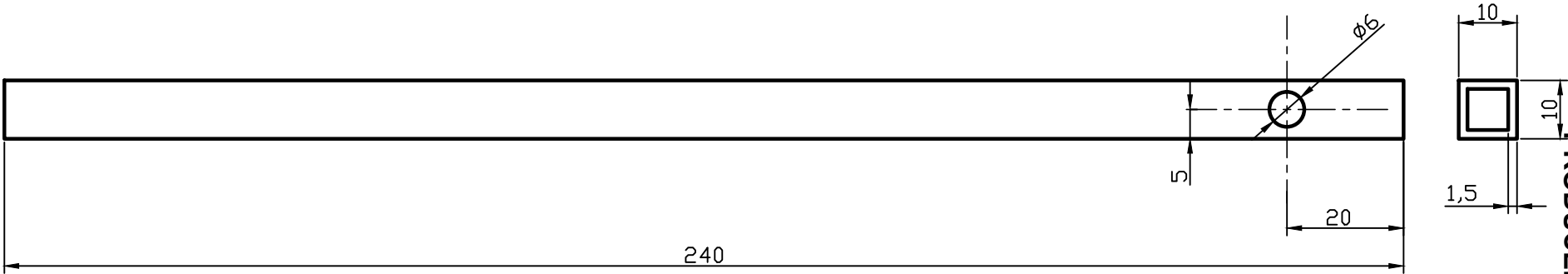
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Material: Chapa de 4 mm Aço Inox
Quantidade: 1 (um)

Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automatização dos protocolos de stress									
Desenho				50153 - Pedro Costa									
Copiou													
Vista													
Escala	Suporte Motor												
Toler.													
				Substitui:									
			Substituído por:										

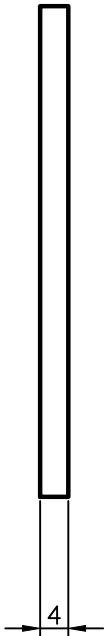
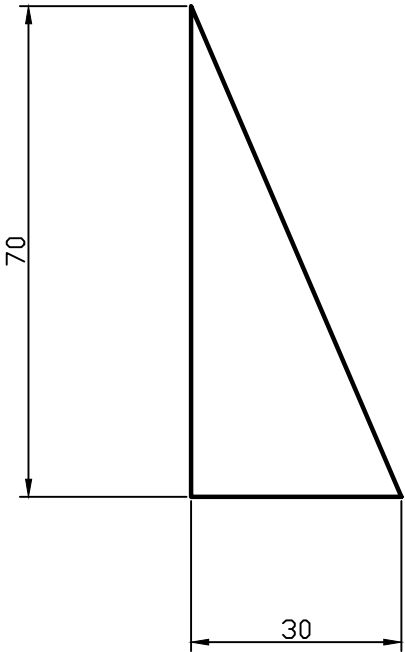
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

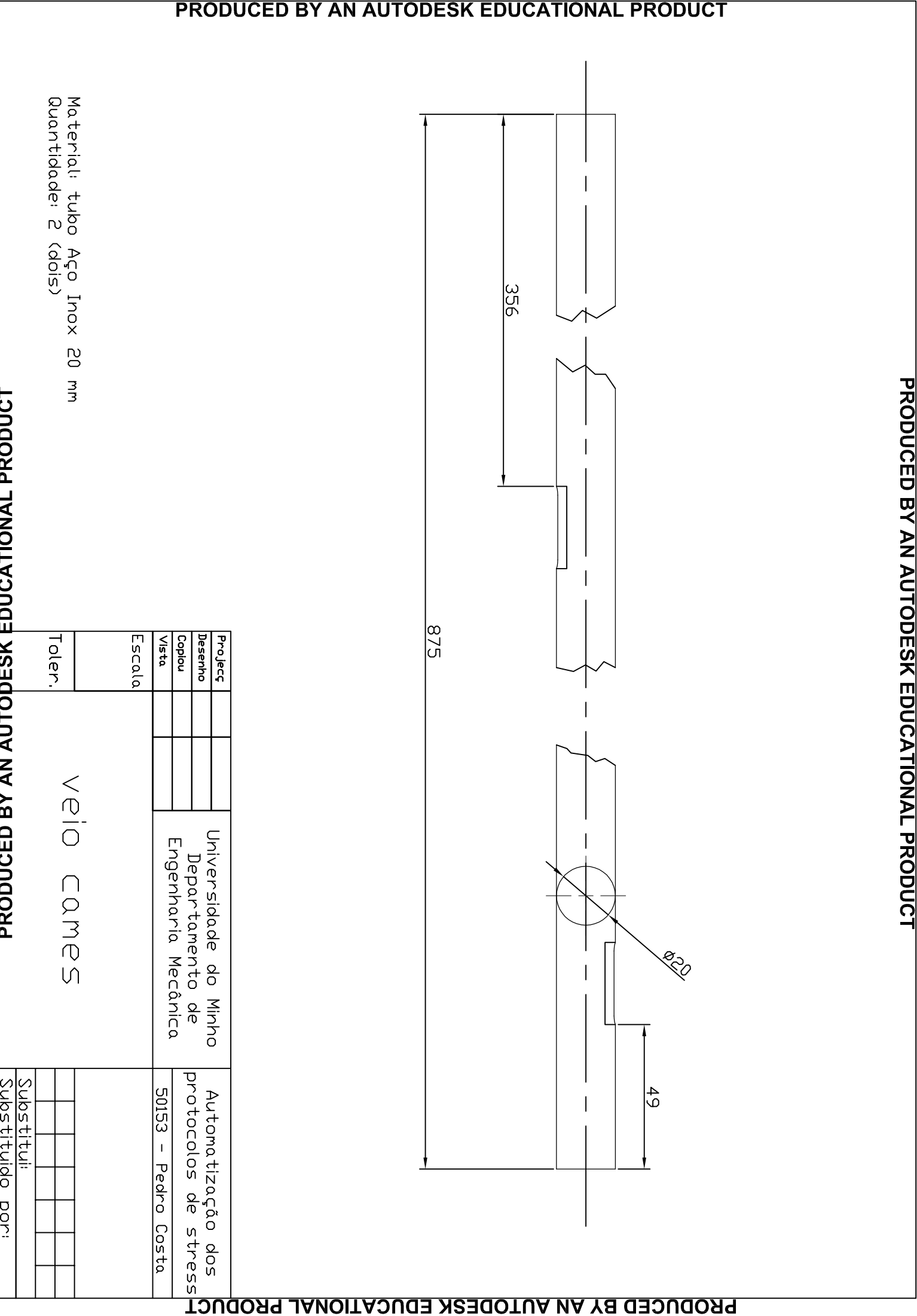
Material: tubo 10x10 Aço Inox
Quantidade: 24 (vinte e quatro)

Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automatização dos protocolos de stress								
Desenho												
Copiou												
Vista				50153 - Pedro Costa								
Escala	Suporte veios limpeza											
Toler.												
				Substitui:								
				Substituido por:								



Material: Chapa de 4 mm Aço Inox
Quantidade: 6 (seis)

Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automatização dos protocolos de stress						
Desenho										
Copiou										
Vista				50153 - Pedro Costa						
Escala	reforço Suporte Motor									
Toler.										
				Substitui:						
				Substituido por:						

[illegible]

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

875

356

49

Ø20

Projecç					
Desenho					
Cópia					
Vista					
Escala					
Toler.					

Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Mecânica

Automatização dos protocolos de stress

50153 – Pedro Costa

veio cames

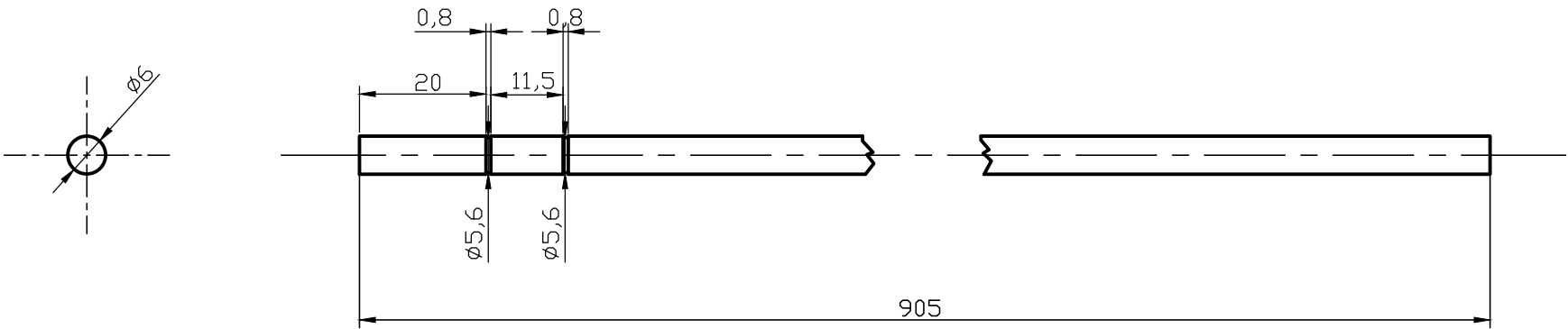
Material: tubo Aço Inox 20 mm
Quantidade: 2 (dois)

Substituído por:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

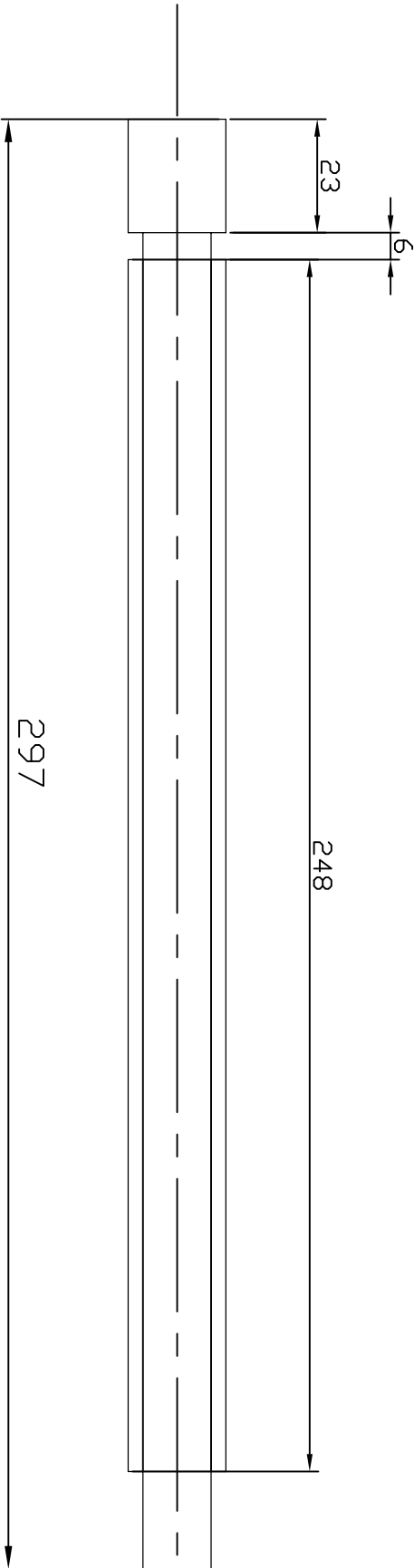
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Material: Veio Aço 6 mm
Quantidade: 8 (oito)

Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automatização dos protocolos de stress						
Desenho										
Copiou										
Vista				50153 - Pedro Costa						
Escala	Veio Limpeza									
Toler.										
				Substitui:						
				Substituido por:						

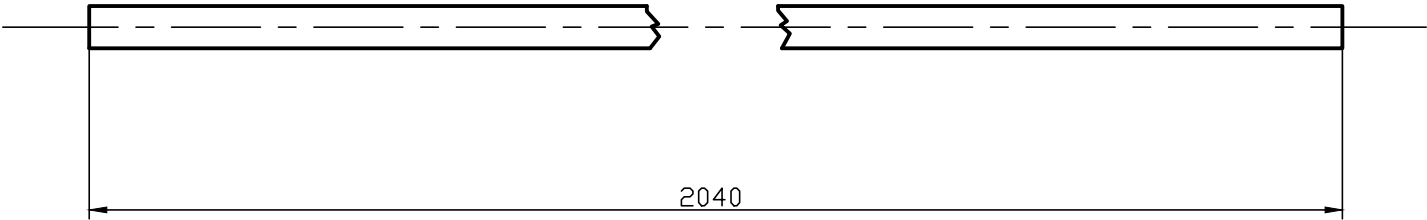
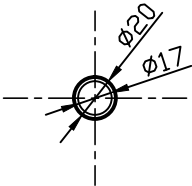


Projectç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automação dos protocolos de stress
Desenho				
Cópia				
Vista				
Escala,				
				50153 - Pedro Costa

Material: Aço Inox 403
Quantidade: 1

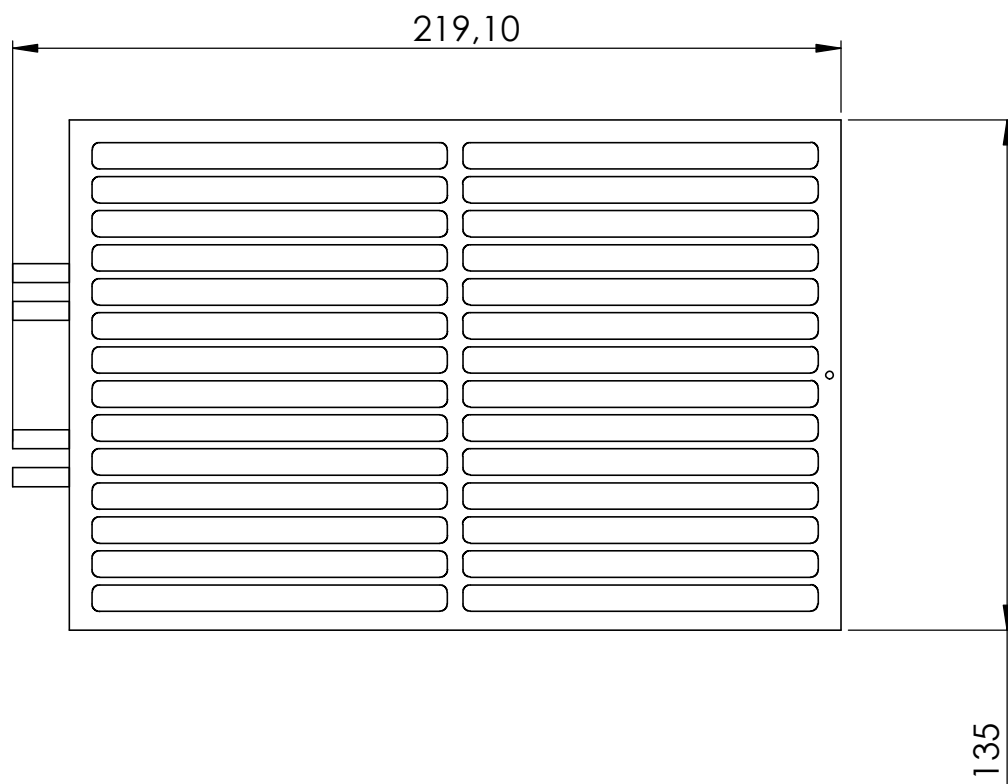
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Material: Veio Aço 20 mm
Quantidade: 4 (quatro)

Projecç			Universidade do Minho Departamento de Engenharia Mecânica	Automatização dos protocolos de stress						
Desenho										
Copiou				50153 - Pedro Costa						
Vista										
Escala	Veio suporte prateleiras									
Toler.										
				Substitui:						
				Substituído por:						



chapa inox 1 mm
1 unidade

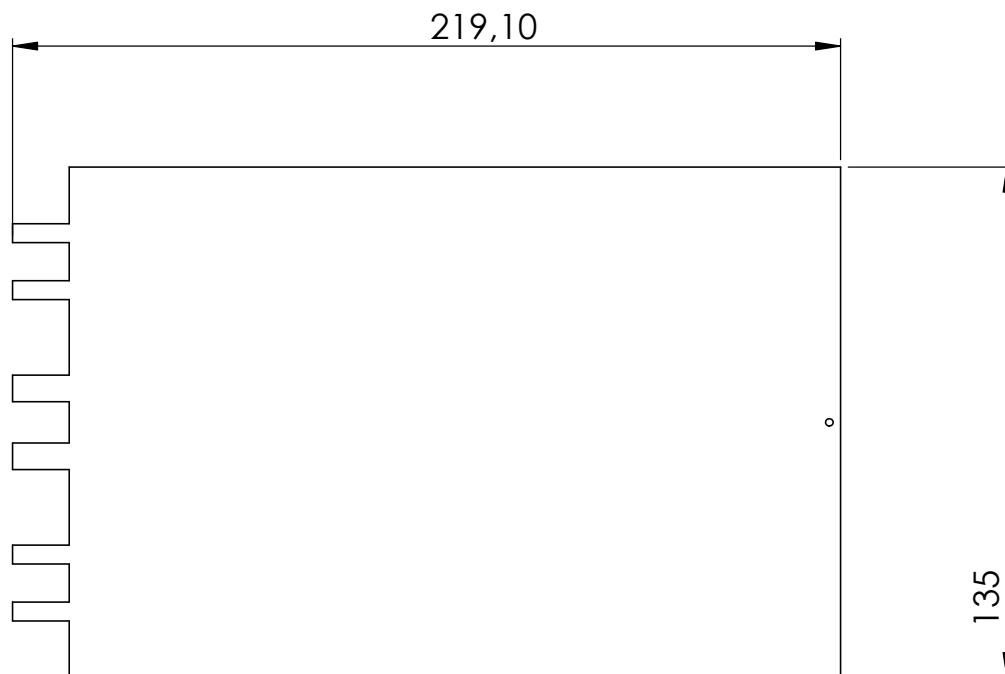
espessura: mm

Peso: Kg

Área: m²



Família	E:\EIB\		Desenhado	<i>Ferreira Almeida</i>	09-12-2013	Escala:
Dimensões		Tolerância ± 1mm	Verificado			
Referência			Aprovado			
Designação do desenho						
cilindro baixo			Ed.	Número do desenho		Rev
			1	Default		0



espessura: mm

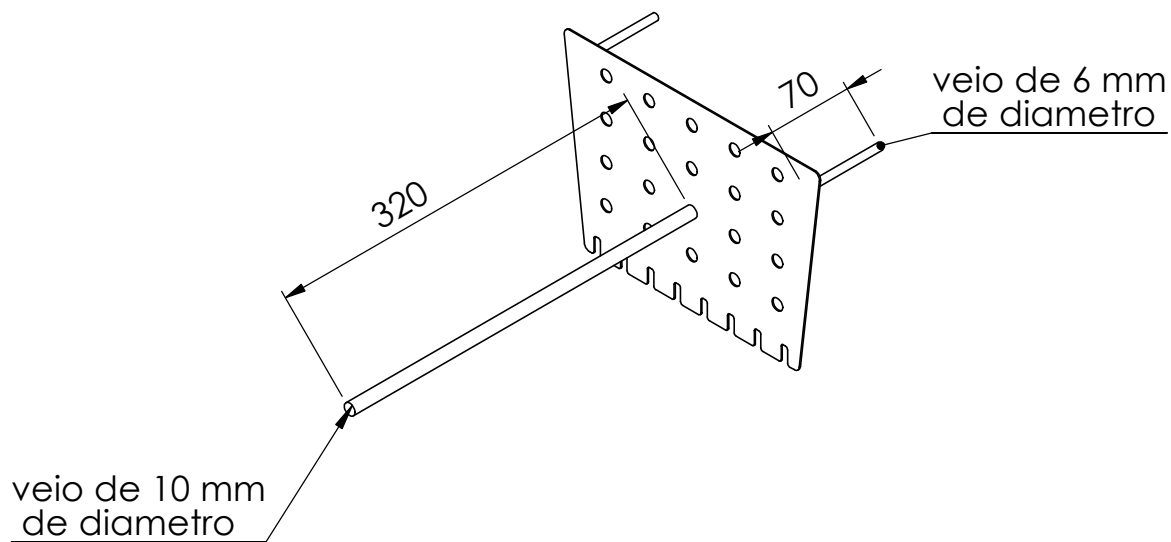
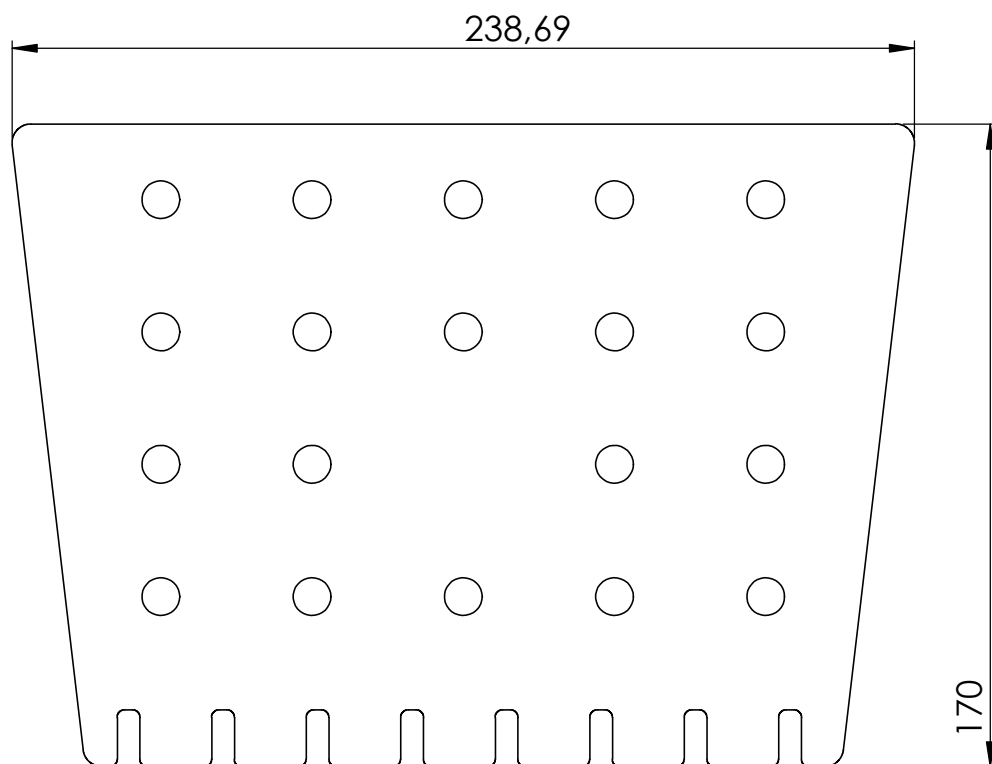
Peso: Kg

Área: m²

chapa inox 1 mm
1 unidade



Família	E:\EIB\		Desenhado	<i>Ferreira Almeida</i>	09-12-2013	Escala:
Dimensões		Tolerância ± 1mm	Verificado			
Referência			Aprovado			
Designação do desenho						
cilindro cima			Ed.	Número do desenho		Rev
			1	Default		0



espessura: mm

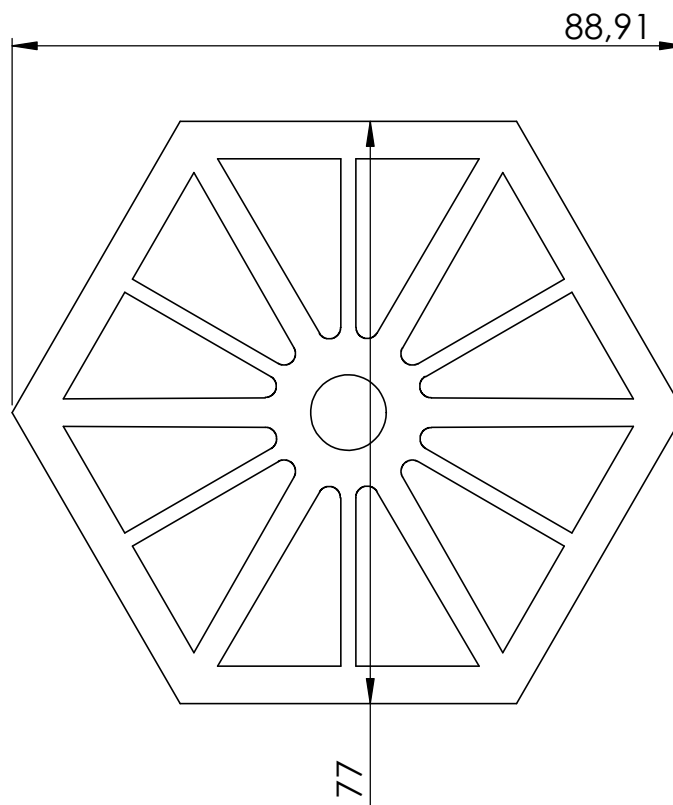
Peso: Kg

Área: m²

chapa inox 1 mm
1 unidade



Família	E:\EIB\		Desenhado	Forge Almeida	09-12-2013	Escala:
Dimensões		Tolerância ± 1mm	Verificado			
Referência			Aprovado			
Designação do desenho						
pa restraining gggg			Ed.	Número do desenho	Rev	
			1	Default	0	



Chapa inox 1 mm

espessura: mm

Peso: Kg

Área: m²



Família E:\EIB\

Dimensões

Referência

Tolerância
± 1mm

Desenhado

Forge Almeida

09-12-2013

Escala:

Verificado

Aprovado

Designação do desenho



tampa air

Ed.

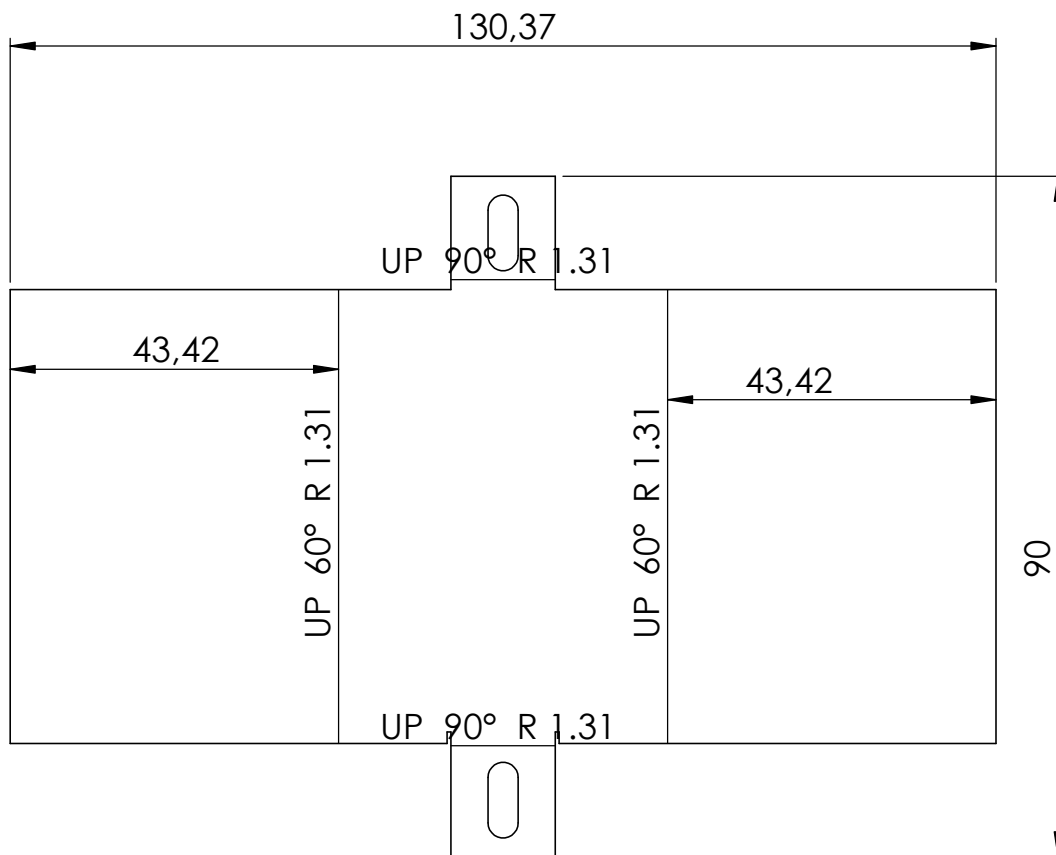
Número do desenho

Rev

1

Default

0



chapa inox 1 mm
2 unidades

espessura: mm

Peso: Kg

Área: m²



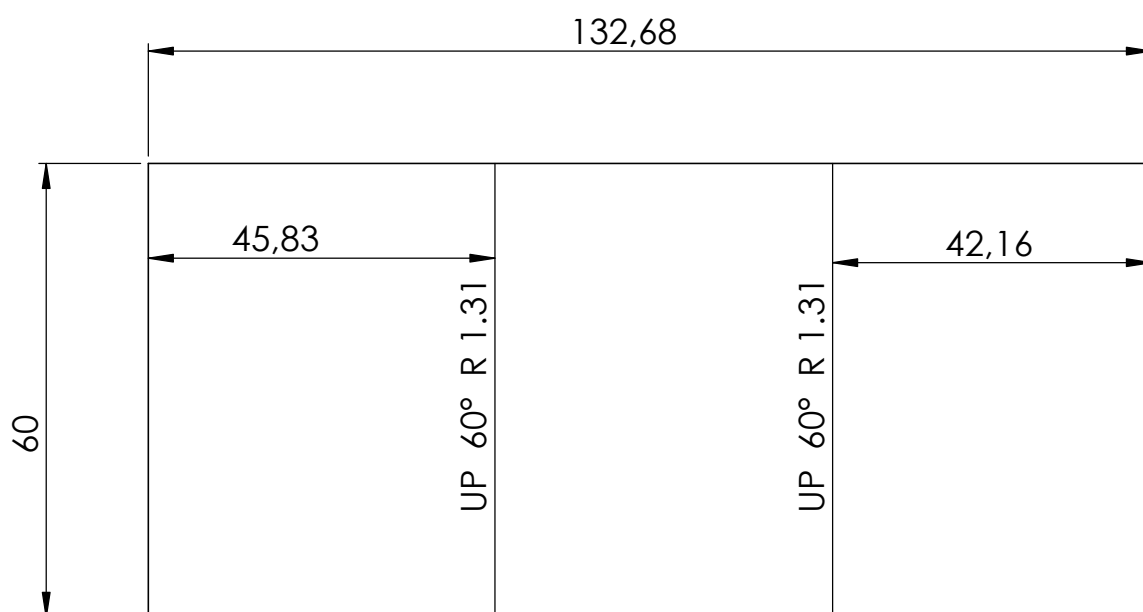
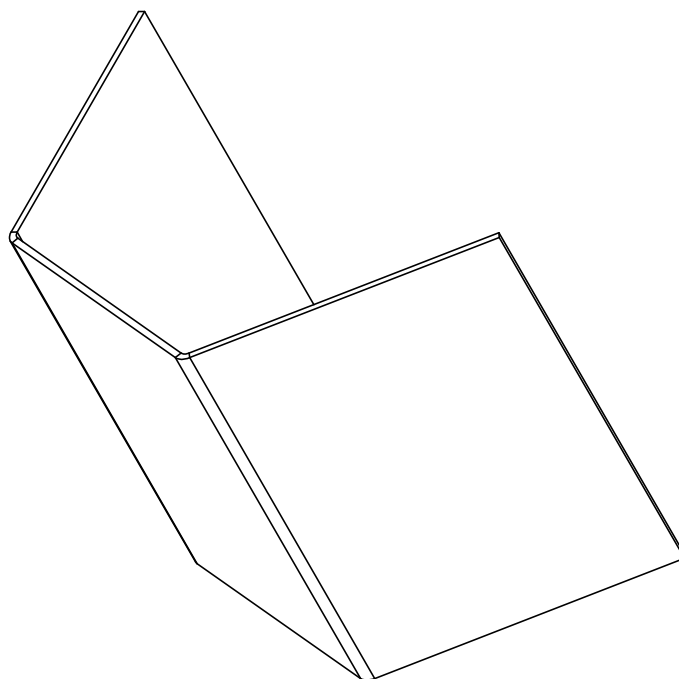
Família	E:\EIB\	Desenhado	Forge Almeida	09-12-2013	Escala:
Dimensões		Verificado			
Referência		Aprovado			

Designação do desenho



hot air hex1

Ed.	Número do desenho	Rev
Default	SM-FLAT-PATTERN	0



chapa inox 1 mm
2 unidades

espessura: mm
Peso: Kg
Área: m ²



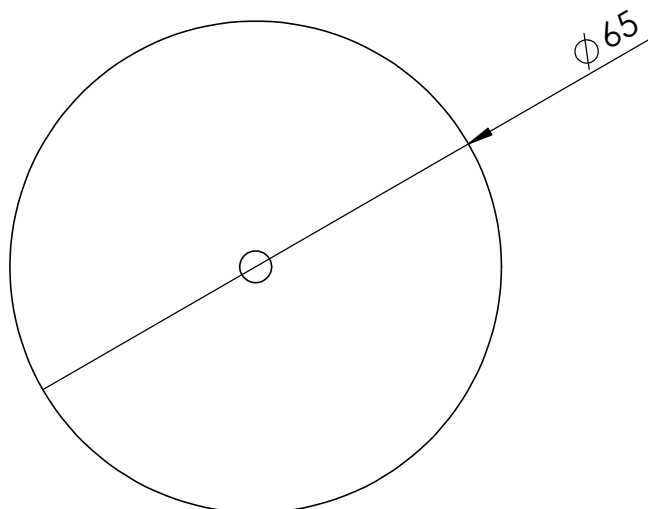
Família	E:\EIB\	Desenhado	Forge Almeida	09-12-2013	Escala:
Dimensões		Verificado			
Referência		Aprovado			

Designação do desenho



hot air hex2

Ed.	Número do desenho	Rev
	DefaultSM-FLAT-PATTERN	0



chapa inox 1 mm
cravar porca M3
2 unidades

espessura: mm

Peso: Kg

Área: m²

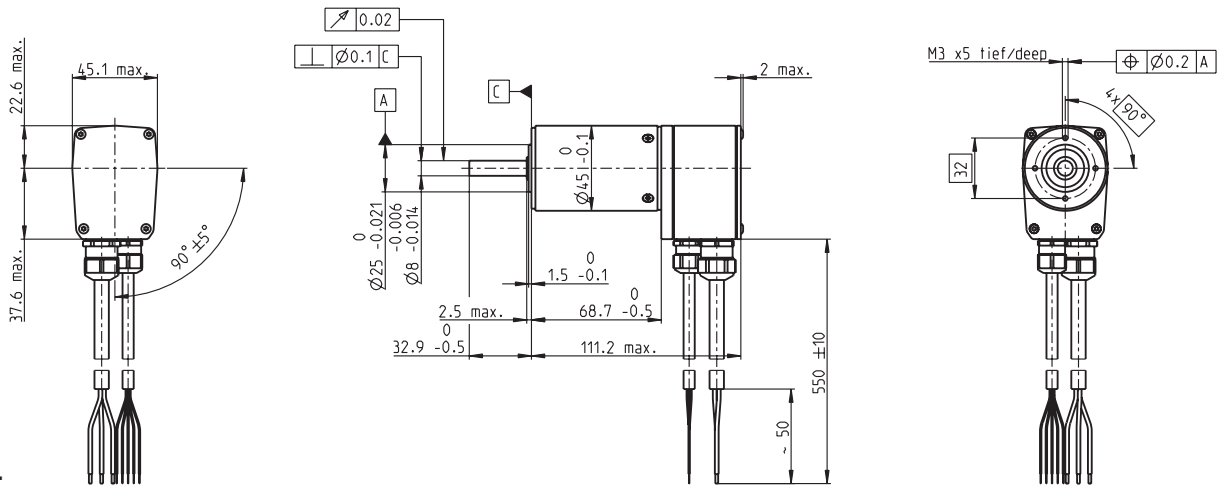


Família	E:\EIB\		Desenhado	Ferreira Almeida	09-12-2013	Escala:
Dimensões		Tolerância ± 1mm	Verificado			
Referência			Aprovado			
Designação do desenho						
lado cilindro comida			Ed.	Número do desenho	Rev.	
			1	Default	0	



ANEXO D

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS COMPONENTES DA MAXON MOTOR

EC 45 Ø45 mm, brushless, 150 Watt**M 1:4**

- Stock program
 Standard program
 Special program (on request)

Part Numbers

136202	136196	136203	136197	136204	136198	136205	136200	136206	136201
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Motor Data

Values at nominal voltage												
1	Nominal voltage	V	12	12	18	18	24	24	36	36	48	48
2	No load speed	rpm	9780	5650	10300	5930	10500	6090	9360	5400	10200	5860
3	No load current	mA	1530	577	1120	419	879	328	471	177	411	154
4	Nominal speed	rpm	8410	4370	9000	4680	9290	4840	8150	4190	8960	4640
5	Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	174	186	171	184	169	183	179	191	174	187
6	Nominal current (max. continuous current)	A	16.2	9.65	11.2	6.72	8.55	5.13	5.29	3.14	4.21	2.52
7	Stall torque	mNm	1380	872	1540	931	1600	952	1560	911	1650	962
8	Starting current	A	119	43.6	93.3	32.6	74.8	25.6	43.1	14.5	37.2	12.5
9	Max. efficiency	%	79	79	80	79	80	79	81	80	81	80
Characteristics												
10	Terminal resistance phase to phase	Ω	0.101	0.275	0.193	0.552	0.321	0.936	0.836	2.48	1.29	3.85
11	Terminal inductance phase to phase	mH	0.0266	0.0797	0.0542	0.163	0.0917	0.275	0.263	0.788	0.395	1.19
12	Torque constant	mNm/A	11.5	20	16.5	28.6	21.4	37.1	36.3	62.8	44.5	77.1
13	Speed constant	rpm/V	827	478	579	334	445	257	263	152	214	124
14	Speed/torque gradient	rpm/mNm	7.22	6.58	6.78	6.46	6.67	6.49	6.07	6	6.22	6.18
15	Mechanical time constant	ms	8.99	8.19	8.44	8.05	8.32	8.08	7.56	7.48	7.75	7.7
16	Rotor inertia	gcm ²	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119

Specifications

Thermal data		
17	Thermal resistance housing-ambient	1.9 K/W
18	Thermal resistance winding-housing	0.9 K/W
19	Thermal time constant winding	15.4 s
20	Thermal time constant motor	1600 s
21	Ambient temperature	-20...+100°C
22	Max. permissible winding temperature	+125°C
Mechanical data (preloaded ball bearings)		
23	Max. permissible speed	15000 rpm
24	Axial play at axial load < 20 N	0 mm
	> 20 N	max. 0.14 mm
25	Radial play	preloaded
26	Max. axial load (dynamic)	16 N
27	Max. force for press fits (static) (static, shaft supported)	182 N
		5000 N
28	Max. radial loading, 5 mm from flange	140 N

Other specifications

29	Number of pole pairs	1
30	Number of phases	3
31	Weight of motor	850 g
	Protection to	IP54*

Values listed in the table are nominal.

Connection motor (Cable AWG 16)

Cable 1	Motor winding 1
Cable 2	Motor winding 2
Cable 3	Motor winding 3

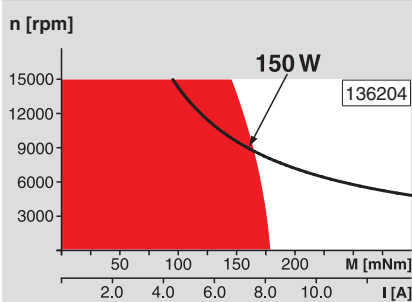
Connection sensors (Cable AWG 24)¹⁾

white	Hall sensor 3
brown	Hall sensor 2
green	Hall sensor 1
yellow	GND
grey	V _{Hall} 4.5 ... 24 VDC

Wiring diagram for Hall sensors see p. 35

¹⁾ Not lead through in combination with resolver.**Option**

Temperature monitoring, PTC resistance Micropille
 110°C, R 25°C < 0.5 kΩ, R 105°C = 1.2...1.5 kΩ,
 R 115°C = 7...13 kΩ, R 120°C = 18...35 kΩ

Operating Range**Comments****Continuous operation**

In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.
 = Thermal limit.

Short term operation

The motor may be briefly overloaded (recurring).

Assigned power rating**maxon Modular System**

Overview on page 20 - 25

Planetary Gearhead

Ø42 mm

3 - 15 Nm

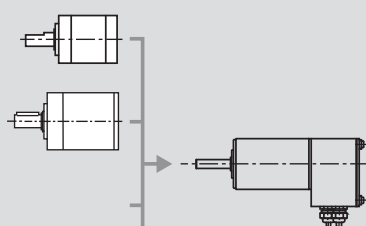
Page 270

Planetary Gearhead

Ø52 mm

4 - 30 Nm

Page 273

**Recommended Electronics:**

ESCON 50/5	Page 321
ESCON Module 50/5	321
ESCON 70/10	321
DECS 50/5	324
DEC Module 50/5	325
EPOS2 50/5, 70/10	331
EPOS3 70/10 EtherCAT	337
Notes	24

Encoder HEDL 9140

500 CPT,

3 channels

Page 310

Resolver Res 26

Ø26 mm

10 V

Page 316

Brake AB 28

24 VDC

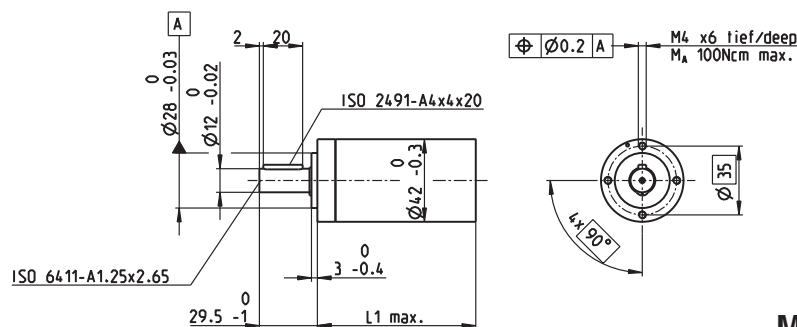
0.4 Nm

Page 349

*Protection level only when
 installed with flange-side seal.

Planetary Gearhead GP 42 C Ø42 mm, 3–15 Nm

Ceramic Version



M 1:4

Technical Data

Planetary Gearhead	straight teeth
Output shaft	stainless steel
Bearing at output	preloaded ball bearings
Radial play, 12 mm from flange	max. 0.06 mm
Axial play at axial load	< 5 N 0 mm > 5 N max. 0.3 mm
Max. permissible axial load	150 N
Max. permissible force for press fits	300 N
Sense of rotation, drive to output	=
Recommended input speed	< 8000 rpm
Recommended temperature range	-40...+100°C
Number of stages	1 2 3 4
Max. radial load, 12 mm from flange	120 N 240 N 360 N 360 N

- Stock program
- Standard program
- Special program (on request)

Part Numbers

Gearhead Data

	203113	203115	203119	203120	203124	203129	203128	203133	203137	203141
1 Reduction	3.5:1	12:1	26:1	43:1	81:1	156:1	150:1	285:1	441:1	756:1
2 Reduction absolute	7/2	49/4	26	343/8	2197/27	156	2401/16	15379/54	441	756
10 Mass inertia	14	15	9.1	15	9.4	9.1	15	15	14	14
3 Max. motor shaft diameter	10	10	8	10	8	8	10	10	10	10
Part Numbers	203114	203116	260552*	203121	203125	260553*	203130	203134	203138	203142
1 Reduction	4.3:1	15:1	36:1	53:1	91:1	216:1	186:1	319:1	488:1	936:1
2 Reduction absolute	13/3	91/6	36/1	637/12	91	216/1	4459/24	637/2	4394/9	936
10 Mass inertia	9.1	15	5.0	15	15	5.0	15	15	9.4	9.1
3 Max. motor shaft diameter	8	10	4	10	10	4	10	10	8	8
Part Numbers	260551*	203117		203122	203126		203131	203135	203139	260554*
1 Reduction	6:1	19:1		66:1	113:1		230:1	353:1	546:1	1296:1
2 Reduction absolute	6/1	169/9		1183/18	338/3		8281/36	28561/81	546	1296/1
10 Mass inertia	4.9	9.4		15	9.4		15	9.4	14	5.0
3 Max. motor shaft diameter	4	8		10	8		10	8	10	4
Part Numbers		203118		203123	203127		203132	203136	203140	
1 Reduction		21:1		74:1	126:1		257:1	394:1	676:1	
2 Reduction absolute		21		147/2	126		1029/4	1183/3	676	
10 Mass inertia		14		15	14		15	15	9.1	
3 Max. motor shaft diameter		10		10	10		10	10	8	
4 Number of stages	1	2	2	3	3	3	4	4	4	4
5 Max. continuous torque	Nm 3.0	7.5	7.5	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
6 Intermittently permissible torque at gear output	Nm 4.5	11.3	11.3	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
7 Max. efficiency	% 90	81	81	72	72	72	64	64	64	64
8 Weight	g 260	360	360	460	460	460	560	560	560	560
9 Average backlash no load	° 0.6	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
11 Gearhead length L1	mm 41.0	55.5	55.5	70.0	70.0	70.0	84.5	84.5	84.5	84.5

*no combination with EC 45 (150 W and 250 W)

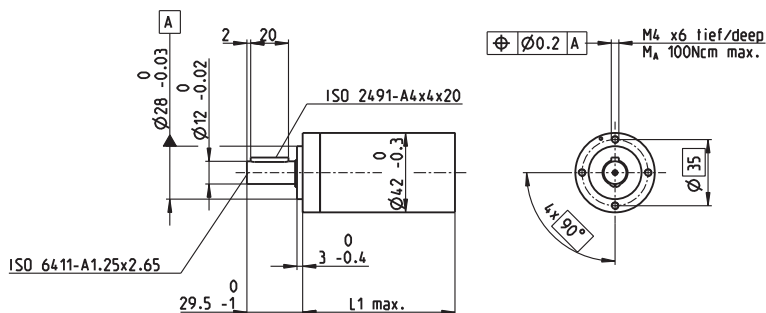


maxon Modular System

+ Motor	Page	+ Sensor	Page	Brake	Page	Overall length [mm] = Motor length + gearhead length + (sensor/brake) + assembly parts									
RE 35, 90 W	104					112.1	126.6	126.6	141.1	141.1	141.1	155.6	155.6	155.6	155.6
RE 35, 90 W	104	MR	303			123.5	138.0	138.0	152.5	152.5	152.5	167.0	167.0	167.0	167.0
RE 35, 90 W	104	HED_ 5540	305/307			132.8	147.3	147.3	161.8	161.8	161.8	176.3	176.3	176.3	176.3
RE 35, 90 W	104	DCT 22	315			130.2	144.7	144.7	159.2	159.2	159.2	173.7	173.7	173.7	173.7
RE 35, 90 W	104			AB 28	348	148.2	162.7	162.7	177.2	177.2	177.2	191.7	191.7	191.7	191.7
RE 35, 90 W	104	HED_ 5540	305/307	AB 28	348	165.4	179.9	179.9	194.4	194.4	194.4	208.9	208.9	208.9	208.9
RE 40, 150 W	105					112.1	126.6	126.6	141.1	141.1	141.1	155.6	155.6	155.6	155.6
RE 40, 150 W	105	MR	303			123.5	138.0	138.0	152.5	152.5	152.5	167.0	167.0	167.0	167.0
RE 40, 150 W	105	HED_ 5540	305/307			132.8	147.3	147.3	161.8	161.8	161.8	176.3	176.3	176.3	176.3
RE 40, 150 W	105	HEDL 9140	310			166.2	180.7	180.7	195.2	195.2	195.2	209.7	209.7	209.7	209.7
RE 40, 150 W	105			AB 28	348	148.2	162.7	162.7	177.2	177.2	177.2	191.7	191.7	191.7	191.7
RE 40, 150 W	105			AB 28	349	156.2	170.7	170.7	185.2	185.2	185.2	199.7	199.7	199.7	199.7
RE 40, 150 W	105	HED_ 5540	305/307	AB 28	348	165.4	179.9	179.9	194.4	194.4	194.4	208.9	208.9	208.9	208.9
RE 40, 150 W	105	HEDL 9140	310	AB 28	349	176.7	191.2	191.2	205.7	205.7	205.7	220.2	220.2	220.2	220.2
EC 40, 170 W	181					121.1	135.6	135.6	150.1	150.1	150.1	164.6	164.6	164.6	164.6
EC 40, 170 W	181	HED_ 5540	306/308			144.5	159.0	159.0	175.5	175.5	175.5	188.0	188.0	188.0	188.0
EC 40, 170 W	181	Res 26	316			148.3	162.8	162.8	177.3	177.3	177.3	191.8	191.8	191.8	191.8
EC 40, 170 W	181			AB 32	350	163.8	178.3	178.3	192.8	192.8	192.8	207.3	207.3	207.3	207.3
EC 40, 170 W	181	HED_ 5540	306/308	AB 32	350	187.2	201.7	201.7	216.2	216.2	216.2	230.7	230.7	230.7	230.7
EC 45, 150 W	182					152.3	166.8	166.8	181.3	181.3	181.3	195.8	195.8	195.8	195.8
EC 45, 150 W	182	HEDL 9140	310			167.9	182.4	182.4	196.9	196.9	196.9	211.4	211.4	211.4	211.4
EC 45, 150 W	182	Res 26	316			152.3	166.8	166.8	181.3	181.3	181.3	195.8	195.8	195.8	195.8
EC 45, 150 W	182			AB 28	349	159.7	174.2	174.2	188.7	188.7	188.7	203.2	203.2	203.2	203.2
EC 45, 150 W	182	HEDL 9140	310	AB 28	349	176.7	191.2	191.2	205.7	205.7	205.7	220.2	220.2	220.2	220.2
EC 45, 250 W	183					185.1	199.6	199.6	214.1	214.1	214.1	228.6	228.6	228.6	228.6
EC 45, 250 W	183	HEDL 9140	310			200.7	215.2	215.2	229.7	229.7	229.7	244.2	244.2	244.2	244.2
EC 45, 250 W	183	Res 26	316			185.1	199.6	199.6	214.1	214.1	214.1	228.6	228.6	228.6	228.6
EC 45, 250 W	183			AB 28	349	192.5	207.0	207.0	221.5	221.5	221.5	236.0	236.0	236.0	236.0
EC 45, 250 W	183	HEDL 9140	310	AB 28	349	209.5	224.0	224.0	238.5	238.5	238.5	253.0	253.0	253.0	253.0

Planetary Gearhead GP 42 C $\varnothing 42$ mm, 3–15 Nm

Ceramic Version



M 1:4

Technical Data

Planetary Gearhead	straight teeth
Output shaft	stainless steel
Bearing at output	preloaded ball bearings
Radial play, 12 mm from flange	max. 0.06 mm
Axial play at axial load	< 5 N 0 mm > 5 N max. 0.3 mm
Max. permissible axial load	150 N
Max. permissible force for press fits	300 N
Sense of rotation, drive to output	=
Recommended input speed	< 8000 rpm
Recommended temperature range	-40...+100°C
Number of stages	1 2 3 4
Max. radial load, 12 mm from flange	120 N 240 N 360 N 360 N

maxon gear

- Stock program
- Standard program
- Special program (on request)

Part Numbers

Gearhead Data

	203113	203115	203119	203120	203124	203129	203128	203133	203137	203141
1 Reduction	3.5:1	12:1	26:1	43:1	81:1	156:1	150:1	285:1	441:1	756:1
2 Reduction absolute	7/2	49/4	26	343/8	2197/27	156	2401/16	15379/54	441	756
10 Mass inertia	gcm ² 14	15	9.1	15	9.4	9.1	15	15	14	14
3 Max. motor shaft diameter	mm 10	10	8	10	8	8	10	10	10	10
Part Numbers	203114	203116	260552*	203121	203125	260553*	203130	203134	203138	203142
1 Reduction	4.3:1	15:1	36:1	53:1	91:1	216:1	186:1	319:1	488:1	936:1
2 Reduction absolute	13/3	91/6	36/1	637/12	91	216/1	4459/24	637/2	4394/9	936
10 Mass inertia	gcm ² 9.1	15	5.0	15	15	5.0	15	15	9.4	9.1
3 Max. motor shaft diameter	mm 8	10	4	10	10	4	10	10	8	8
Part Numbers	260551*	203117		203122	203126		203131	203135	203139	260554*
1 Reduction	6:1	19:1		66:1	113:1		230:1	353:1	546:1	1296:1
2 Reduction absolute	6/1	169/9		1183/18	338/3		8281/36	28561/81	546	1296/1
10 Mass inertia	gcm ² 4.9	9.4		15	9.4		15	9.4	14	5.0
3 Max. motor shaft diameter	mm 4	8		10	8		10	8	10	4
Part Numbers		203118		203123	203127		203132	203136	203140	
1 Reduction		21:1		74:1	126:1		257:1	394:1	676:1	
2 Reduction absolute		21		147/2	126		1029/4	1183/3	676	
10 Mass inertia	gcm ²	14		15	14		15	15	9.1	
3 Max. motor shaft diameter	mm	10		10	10		10	10	8	
4 Number of stages	1	2	2	3	3	3	4	4	4	4
5 Max. continuous torque	Nm 3.0	7.5	7.5	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
6 Intermittently permissible torque at gear output	Nm 4.5	11.3	11.3	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
7 Max. efficiency	% 90	81	81	72	72	72	64	64	64	64
8 Weight	g 260	360	360	460	460	460	560	560	560	560
9 Average backlash no load	° 0.6	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
11 Gearhead length L1**	mm 41.0	55.5	55.5	70.0	70.0	70.0	84.5	84.5	84.5	84.5

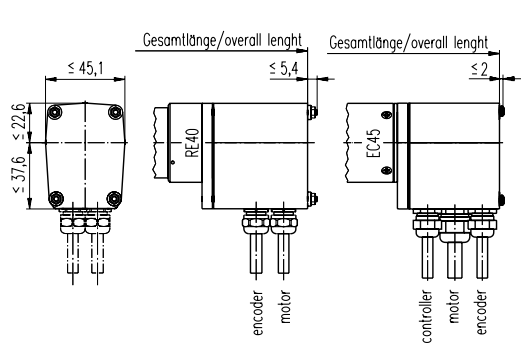
*no combination with EC 45 (150 W and 250 W) **for EC 45 flat L1 is -3.5 mm



maxon Modular System

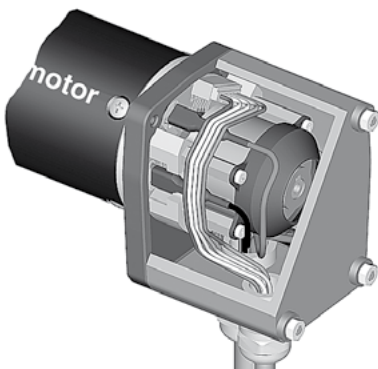
+ Motor	Page	+ Sensor	Page	Brake	Page	Overall length [mm] = Motor length + gearhead length + (sensor/brake) + assembly parts				
EC-max 30, 60 W	193					105.1	119.6	119.6	134.1	134.1
EC-max 30, 60 W	193	MR	302			117.3	131.8	131.8	146.3	146.3
EC-max 30, 60 W	193	HEDL 5540	308			125.7	140.2	140.2	154.7	154.7
EC-max 30, 60 W	193			AB 20	346	140.6	155.1	155.1	169.6	169.6
EC-max 30, 60 W	193	HEDL 5540	308	AB 20	346	161.4	175.9	175.9	190.4	190.4
EC-max 40, 70 W	194					99.1	113.6	113.6	128.1	128.1
EC-max 40, 70 W	194	MR	303			115.0	129.5	129.5	144.0	144.0
EC-max 40, 70 W	194	HEDL 5540	308			122.5	137.0	137.0	151.5	151.5
EC-max 40, 70 W	194			AB 28	347	133.4	147.9	147.9	162.4	162.4
EC-max 40, 70 W	194	HEDL 5540	308	AB 28	347	151.7	166.2	166.2	180.7	180.7
EC-4pole 30, 100 W	201					88.1	102.6	102.6	117.1	117.1
EC-4pole 30, 100 W	201	MR	302			100.3	114.8	114.8	129.3	129.3
EC-4pole 30, 100 W	201	HEDL 5540	309			108.7	123.2	123.2	137.7	137.7
EC-4pole 30, 100 W	201			AB 20	346	124.3	138.8	138.8	153.3	153.3
EC-4pole 30, 100 W	201	HEDL 5540	309	AB 20	346	145.1	159.6	159.6	174.1	174.1
EC-4pole 30, 200 W	202					105.1	119.6	119.6	134.1	134.1
EC-4pole 30, 200 W	202	MR	302			117.3	131.8	131.8	146.3	146.3
EC-4pole 30, 200 W	202	HEDL 5540	309			125.7	140.2	140.2	154.7	154.7
EC-4pole 30, 200 W	202			AB 20	346	141.3	155.8	155.8	170.3	170.3
EC-4pole 30, 200 W	202	HEDL 5540	309	AB 20	346	162.1	176.6	176.6	191.1	191.1
EC 45 flat, 30 W	219					53.9	68.4	68.4	82.9	82.9
EC 45 flat, 50 W	220					58.8	73.3	73.3	87.8	87.8
EC 45 fl, 70 W	221					64.2	78.7	78.7	93.2	93.2
EC 45 fl, IE, IP 00	222					72.7	87.2	87.2	101.7	101.7
EC 45 fl, IE, IP 40	222					74.9	89.4	89.4	103.9	103.9
EC 45 fl, IE, IP 00	223					77.7	92.2	92.2	106.7	106.7
EC 45 fl, IE, IP 40	223					79.9	94.4	94.4	108.9	108.9
MCD EPOS, 60 W	343					161.1	175.6	175.6	190.1	190.1
MCD EPOS P, 60 W	343					161.1	175.6	175.6	190.1	190.1

Brake AB 28 24 VDC, 0.4 Nm



- Stock program
- Standard program
- Special program (on request)

Type



Important Information

- Permanent magnet - single-face brake for DC (dry operation). Braking in unpowered condition.
- Holding brake, prevents rotation of the shaft at standstill or with turned off motor power.
- Not suitable for braking.
- It is possible to lower the voltage applied to the brake after it has been energized, for the purpose of reducing heat loss.

Part Numbers

228389 228390

maxon accessories



maxon Modular System

+ Motor	Page	+ Gearhead	Page	+ Sensor	Page	Overall length [mm] / • see Gearhead
RE 40, 150 W	105					115.1
RE 40, 150 W	105	GP 42, 3 - 15 Nm	270			•
RE 40, 150 W	105	GP 52, 4 - 30 Nm	273			•
RE 40, 150 W	105			HEDL 9140	310	135.6
RE 40, 150 W	105	GP 42, 3 - 15 Nm	270	HEDL 9140	310	•
RE 40, 150 W	105	GP 52, 4 - 30 Nm	273	HEDL 9140	310	•
EC 45, 150 W	182					118.6
EC 45, 150 W	182	GP 42, 3 - 15 Nm	270			•
EC 45, 150 W	182	GP 52, 4 - 30 Nm	273			•
EC 45, 150 W	182			HEDL 9140	310	135.6
EC 45, 150 W	182	GP 42, 3 - 15 Nm	270	HEDL 9140	310	•
EC 45, 150 W	182	GP 52, 4 - 30 Nm	273	HEDL 9140	310	•
EC 45, 250 W	183					151.4
EC 45, 250 W	183	GP 42, 3 - 15 Nm	271			•
EC 45, 250 W	183	GP 52, 4 - 30 Nm	273			•
EC 45, 250 W	183	GP 62, 8 - 50 Nm	275			•
EC 45, 250 W	183			HEDL 9140	310	168.4
EC 45, 250 W	183	GP 42, 3 - 15 Nm	271	HEDL 9140	310	•
EC 45, 250 W	183	GP 52, 4 - 30 Nm	273	HEDL 9140	310	•
EC 45, 250 W	183	GP 62, 8 - 50 Nm	275	HEDL 9140	310	•

Technical Data

Max. permissible static torque at 20°C	0.4 Nm	Nominal voltage, smoothed	24 VDC $\pm 10\%$
Mass inertia	10 gcm ²	Resistance	$R_{20} = 92.5 \Omega \pm 6\%$
Max. permissible speed	16000 rpm	Duty cycle	100%
Weight	0.05 kg	Reaction time	≤ 13 ms
Ambient temperature range	-5...+85°C	- Coupling	≤ 27 ms
		- Opening	

Pin Allocation

Brake	from motor clamp	Designation
RE 40		
Cable green	(AWG 20)	$U_{\text{Brake}} + 24$ VDC
Cable yellow	(AWG 20)	U_{Brake} GND
EC 45		
Cable red	No 4 (AWG 18)	$U_{\text{Brake}} + 24$ VDC
Cable blue	No 5 (AWG 18)	U_{Brake} GND
Min. cable length		500 mm

